情報通信審議会 情報通信技術分科会
陸上無線通信委員会報告

「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち

「76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの高度化に関する技術的条件」

令和８年６月

陸上無線通信委員会

目次

Ⅰ　検討事項 1
Ⅱ　委員会及び作業班の構成 1
Ⅲ 検討経過 1
1.　委員会での検討 1
2.　作業班での検討 1
Ⅳ　検討概要 3
第１章　検討の背景 3
１．１　76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの高度化に係るこれまでの経緯 3
１．２　高度化の必要性 6
１．３　76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの国際動向 9
１．３．１　米国 9
１．３．２　欧　州 10
１．３．３　オーストラリア 11
第２章　76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの高度化 12
２．１　高度化の方向性 12
２．２　検討の方法 13
第３章　他の無線システムとの周波数共用の検討 14
３．１　想定する新型 76GHz 帯小電力ミリ波レーダー 14
３．１．１　諸元 14
３．１．２　アンテナパターン及び空中線利得 14
３．１．３　空中線電力 17
３．１．４　Duty 比 17
３．１．５　車両への搭載方法 18
３．２　電波天文業務との共用 18
３．２．１　検討方針 18
３．２．２　電波天文業務の受信設備 20
３．２．３　車両１台ごとの与干渉量の検討 21
３．２．４　複数車両からの与干渉量の検討 22
３．２．５　共用検討の結果 30
３．３　80GHz 帯高速無線伝送システムとの共用 31
３．４　76GHz 帯小電力ミリ波レーダー間の相互干渉 34
３．５　電波防護指針への準拠 35
３．６　検討結果 36
第４章　技術的条件 37

第５章　本検討を踏まえた今後の課題と対応 38
別表１ 39
別表２ 41
【参考資料】 1
1. 電波天文業務との共用検討 2
(ア) 電波天文業務の受信設備 2
① 受信アンテナ利得に関する考察 2
② 許容干渉電力 4
(イ) 交通量モデルに基づく算出方法 7
① 概要 7
② 算出対象 7
③ 交通量の算出 8
④ 車両の位置と向きの考え方 10
⑤ 車両分布に基づく与干渉量の算出 11
(ウ) 車両密度モデルに基づく算出方法 12
① 概要 12
② メッシュの分割方法 13
③ 対象とするメッシュ 14
④ メッシュにおけるレーダー数の算出 15
(エ) 普及率について 16
① 高度化レーダーの搭載率 16
② 高度化レーダー搭載車の販売台数 17
③ 高度化レーダー搭載車両の割合 17
(オ) 電波伝搬モデルと減衰要素 18
① 自由空間伝搬損失 18
② 地球球面による回折損失 18
③ 地形による回折損失（リッジ回折損失） 18
④ クラッタ損失 19
⑤ 植生損失 19
⑥ 回折時の植生損失 22
⑦ フレネルゾーンによる減衰 24
(カ) 与干渉量の算出における位相の考慮 25
(キ) 海外における電波天文業務の干渉回避方策例 25
① Murchison Radio-astronomy Observatory（オーストラリア） 26
② The IRAM 30m telescope（スペイン） 26
③ the ALMA（チリ） 27

④ the US National Radio Astronomy Observatory in Green Bank（アメリカ）.....28
2. 76GHz 帯小電力ミリ波レーダー間の相互干渉.....30
① レーダーの観測原理.....30
② 相互干渉の原理.....30
③ 相互干渉電力の計算.....32
④ 高度化レーダーが現行規定のレーダーへ及ぼす干渉影響.....34
⑤ 現行基準によるレーダー相互干渉の影響.....34
⑥ 相互干渉に関する検討結果.....38
3. 電波防護指針への準拠.....39
① 電波防護への対応の考え方.....39
② 計算結果.....40
③ 距離依存性.....40

Ⅰ　検討事項

情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会（以下「委員会」という。）は、平成 14 年９月 30 日付け諮問第 2009 号「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち「76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの高度化に関する技術的条件」について見直すための検討を行った。

ⅠⅠ　委員会及び作業班の構成

委員会は、検討の促進を図るために委員会の下に設置された 76GHz 帯省電力ミリ波レーダー高度化作業班（以下「作業班」という。）からの報告を踏まえ、検討を行った。

委員会及び作業班の構成は、それぞれ別表１及び別表２のとおりである。

ⅠⅠⅠ　検討経過

1.　委員会での検討

(1) 第 68 回（令和 3 年 12 月 14 日～24 日）

技術的条件の見直しに向けた検討事項及びスケジュールについて検討を行い、委員会の下に設置した作業班にて実施することとした。

(2) 第 99 回（令和 8 年 4 月 17 日）

76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの高度化に関する技術的条件の委員会報告（案）のとりまとめを行った。

(3)第 101 回（令和 8 年 6 月 11 日）

意見募集の結果を踏まえ、 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの高度化に関する技術的条件の委員会報告のとりまとめを行った

2.　作業班での検討

(1) 第４回（令和４年２月 16 日）

作業班の運営方針及び検討の進め方について確認を行った。

76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの利用状況、電波天文の現状等、電通・公共・一般業務（固定・移動）の現状等について各関係者からの説明があり、議論を行った。

(2) 第５回（令和４年４月１日）

76GHz 帯小電力ミリ波レーダーに係る海外の技術基準や利用状況、電波天文に係る動向や干渉検討の試行について各関係者からの説明があり、議論を行った。

(3) 第６回（令和８年１月 30 日）

干渉に関する検討結果について関係者から説明があり、議論を行った。続いて作業班としてとりまとめる報告書の骨子について事務局から説明があり、議論を行った。

(4) 第７回（令和８年４月９日）

76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの高度化に関する技術的条件の委員会報告（案）について説明があり、議論を行った。その後、報告書（案）を踏まえた今後の対応について関係者から説明があり、議論を行った。

Ⅳ　検討概要

第１章　検討の背景

１．１　76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの高度化に係るこれまでの経緯

76GHz 帯（76-77GHz）レーダーは、1996 年以降、欧米で標準化され、車載レーダーとして国際的に利用されてきた。我が国では、1997 年（平成９年）の電気通信技術審議会答申を受け、1999 年（平成 11 年）に制度化され、主に高速道路での追従走行（ACC；アダプティブクルーズコントロール）や追突防止等のための自動車レーダーとして広く使われている。

2015 年（平成 27 年）には総務省告示の改正により、国際的な動向に合わせて占有周波数帯域が 500MHz から 1GHz に拡張されている。

現行の 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーに関する技術基準を表　１－１に示す。

表　１－１　76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの技術基準（現行）

項目	規定
指定周波数	76.5GHz
指定周波数帯	76.0-77.0GHz
空中線電力	0.01W 以下
空中線電力の許容誤差	上限：50%、下限：70%
空中線利得	40dBi 以下
周波数の許容偏差	76.0-77.0GHz
占有周波数帯幅の許容値	1GHz
対域外領域（74.5～76.0GHz 及び 77.0～78.5GHz）における不要発射の強度の許容値※	100μW 以下
スプリアス領域（～74.5GHz 及び 78.5GHz～）における不要発射の強度の許容値※	50μW 以下

※参照帯域幅は 1MHz

1999 年の制度化以降、関係メーカーでは電波法施行規則、無線設備規則、関連告示により空中線電力、空中線の利得ごとに定められた基準に基づいて製品化を行っており、自動車への搭載等、実用化が進められている。

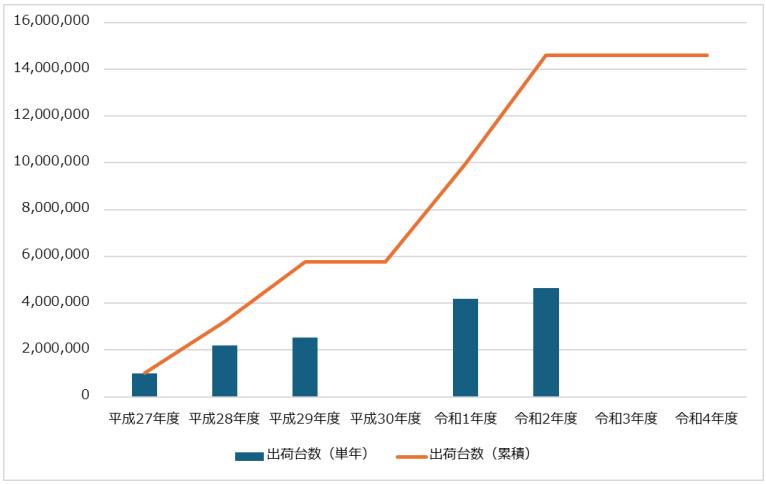


図　１－１　現行制度に基づく 76GHz 帯車載レーダーの普及状況

出所：総務省、「電波の利用状況調査の調査結果及び評価結果　令和 5 年度調査・令和 3 年度調査、平成 30 年調査」[1]より作成

現在 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの主な用途となっている「全車速域定速走行・車間距離制御装置」の車種別の 2024 年の装着率を図　１－２に示す。ミリ波レーダー以外のセンシング技術によるものも含んでいるが、76GHz 帯小電力ミリ波レーダーが制度化されてから四半世紀を経て、新車への装着率は国産乗用車（登録車）については年間生産台数約 224.4 万台のうち 192.2 万台で 86%、また、軽乗用自動車は年間生産台数 120 万台に対して 71.4 万台で 59%まで上昇している。

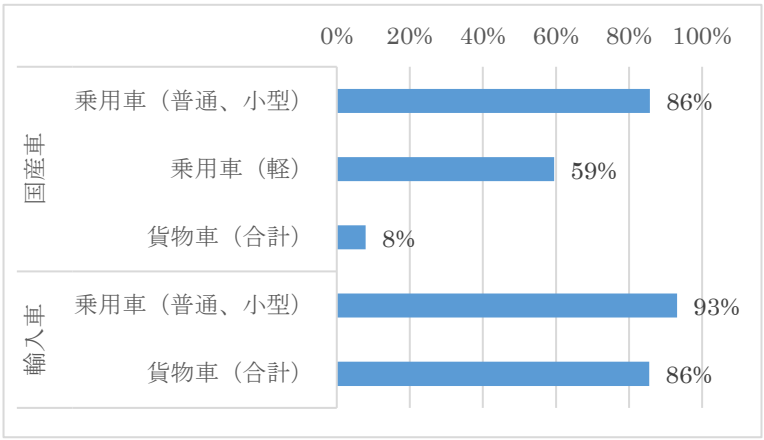


図　１－２　全車速域定速走行・車間距離制御装置の搭載率
（2024 年に日本国内向けに生産された車両における搭載率）

出所：国土交通省、ASV 技術普及台数調査[2]より作成

[1] https://www.tele.soumu.go.jp/j/ref/research/tool/resultall/index.htm
[2] https://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/data/r7hukyuudaisu_kokusan.pdf, https://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/data/r7imported_car.pdf

また、普通乗用車の生産台数のうち、「定速走行・車間距離制御装置」を装着した台数の推移を図　１－３に示す（調査方法が変更されており集計対象が図　１－１と同一ではない）。制度化 10 年経った平成 22 年(2010 年)には、生産台数 393 万台に対して 28 千台で新車装着率は 0.7%であり、５年後の 2015 年で 7%程度である。その時点より更に 10 年以上経過した後に、新車装着率 80%を超えるようになるまで増加してきた。

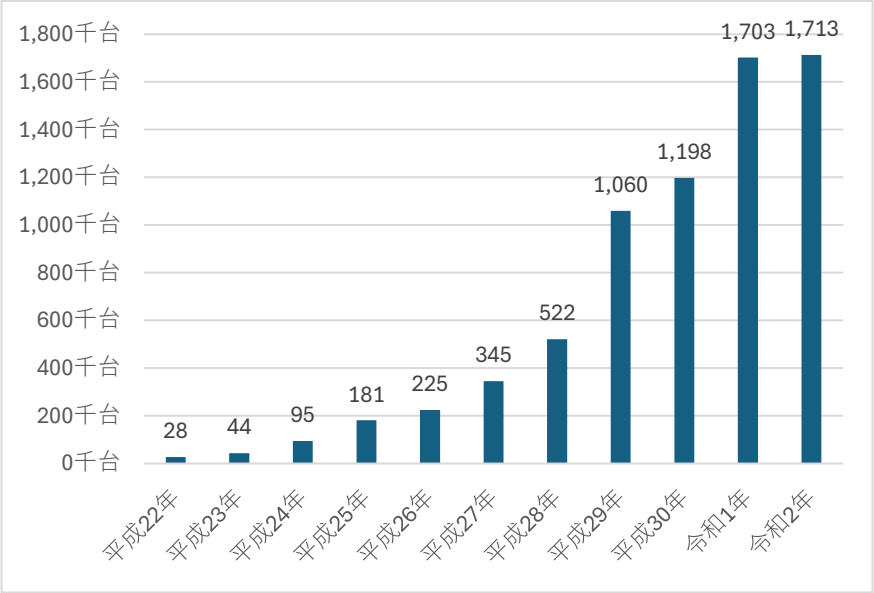


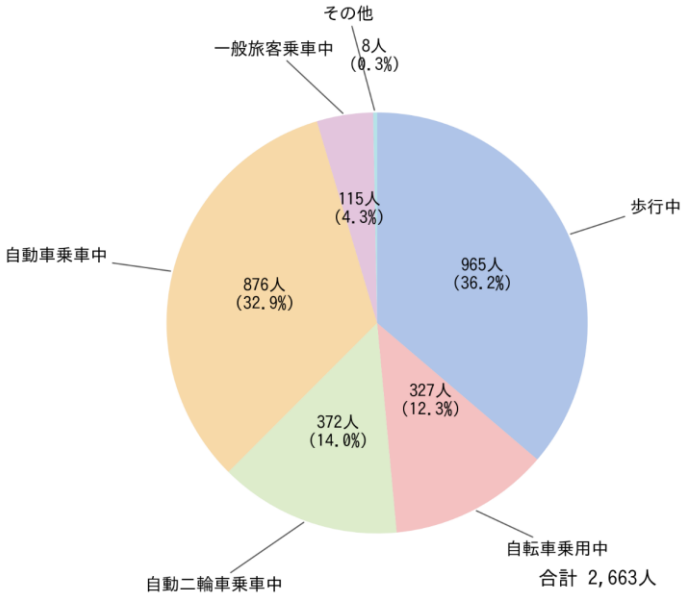
図　１－３　定速走行・車間距離制御装置を装着する乗用車生産台数の推移
（各年に日本国内向けに生産された乗用車の台数）

出所：国土交通省、ASV 技術普及台数調査[3]より作成

[3] https://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/data/r3souchakudaisu.pdf

１．２　高度化の必要性

日本における交通事故の死者数は長期的に減少傾向にあるものの、図　１－４にあるように、依然として歩行者や自転車利用者が事故死者全体の約半数を占めている。



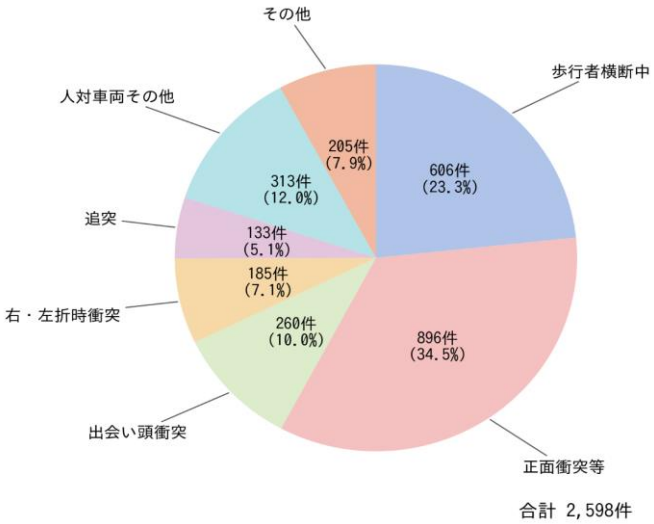
注　警察庁資料による

図　１－４　状態別交通事故死者数（令和６年）

出所：内閣府「令和７年版交通安全白書（全文）」[4]より作成

[4] https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r07kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1_2.html

また、事故件数では図　１－５のように、歩行者横断中や人対車両の事故が死亡事故の約３分の１を占めている。



注　警察庁資料による
・「人対車両その他」とは、人対車両の事故のうち、歩行者横断中以外の事故（対面通行中、背面通行中、路上横臥等）。
・「正面衝突等」とは、正面衝突、路外逸脱及び工作物衝突。

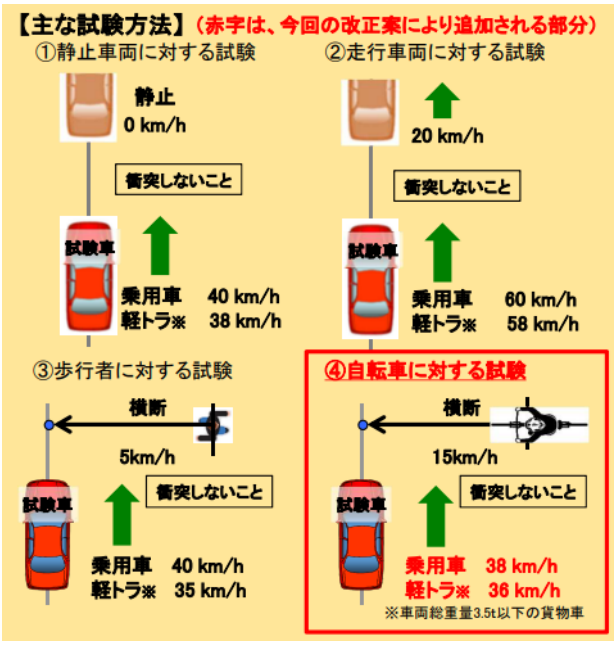
図　１－５　事故類型別交通死亡事故発生件数（令和６年）

出所：内閣府「令和７年版交通安全白書（全文）」[5]より作成

歩行者や自転車利用者等の弱い立場にある道路利用者を保護し、またそれらの事故を削減するためには、車両周辺の高精度センシングが重要性となる。

[5] https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r07kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1_2.html

また、令和２年には乗用車等の衝突被害軽減ブレーキに関する保安基準が改定され、歩行者や自転車を広角で検知する機能の搭載が車両に必須となってきている。




自転車に対しての作動（イメージ）

図　１－６　歩行者や自転車に対する自動ブレーキの義務化

出所：国土交通省、「乗用車等の衝突被害軽減ブレーキに関する国際基準（UN-R152）の概要」[6]

先進運転支援システム（ADAS）や自動運転技術の開発・普及が進んでいる中で、車載センサに求められる検知範囲の広角化・高精度化・長距離化に対するニーズが急速に高まっている。とりわけミリ波レーダーは、夜間、雨や逆光等の厳しい環境条件下でも安定した認識性能を発揮できる点で、ステレオカメラやLiDARと並び、車両周辺監視に不可欠なセンサとなっている。

車両や歩行者・自転車等を広角遠距離で検知できる機能を76GHz帯ミリ波レーダーで実現するため、射程を維持したまま物体検知範囲の広角化を行うなど、自由度の高い設計を可能とする高度化された次世代型の高機能車載レーダーの導入が期待されている。

本作業班では、こうした技術動向や利用環境の変化を踏まえ、76GHz帯小電力ミリ波レーダーの更なる高度化に向けた技術的条件について検討するとともに、同一周波数帯および隣接周波数帯の他業務への影響について技術的な評価を実施した。

[6] https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001844046.pdf

１．３　76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの国際動向

諸外国においては、等価等方輻射電力（EIRP）（EIRP：空中線電力と空中線利得の和）を基準とする上限値が定められている。

以下では米国、欧州、オーストラリアを中心とした主要国の技術基準を示す。

１．３．１ 米国

米国では、連邦通信委員会（FCC）が 50 州、コロンビア特別区および米国領全域のラジオ、テレビ、電線、衛星、ケーブルによる州および国際通信を規制している。FCC が管轄する規制及び規則は連邦規則（CFR）の Title47 に記載されている。

Title47 の Subpart M「The 76-81GHz Band Radar Service」において、本周波数帯で利用されるレーダーシステムの規制が規定されている。なお、米国では 2017 年から 2018 年にかけて規制が改正され、76-77GHz 帯と 77-81GHz 帯が統合された。

CFR Title47 Subpart M §95.3367 76-81GHz Band Radar Service radiated power limits.

76～81GHz 帯域内の基本放射制限は、等価等方放射電力（EIRP）で表され、次のようになる。

A) 76～81GHz 帯域内の最大電力（EIRP）は、1MHz 分解能帯域幅(RBW)の電力平均化検出器を使用した測定に基づいて 50dBm を超えてはならない。

B) 76～81GHz 帯域内の最大ピーク電力（EIRP）は、1MHz RBW のピーク検出器を使用した測定に基づいて 55dBm を超えてはならない。

以上のように記述されており、EIRP の平均およびピーク値の上限のみが規定されている。

なお、米国においては FCC 認証の際に各社が提出しているテストレポートが公開されている。それらの文書からレーダー製品実機の EIRP 値の例をまとめると図 １－７の通りで、実機のピーク EIRP の実力値は最大でも 35dBm 程度となっており、規定上限の 55dBm に対しては 20dBm 程度以上低いレベルとなっている。

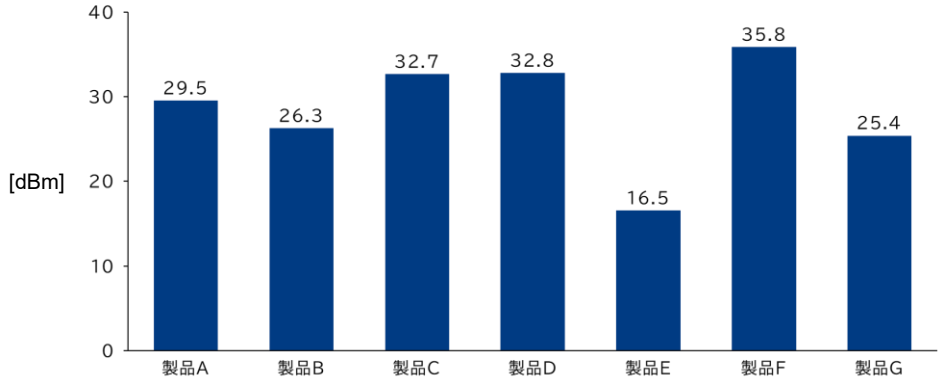


図　１－７　FCC 認証における実製品のピーク EIRP 値の例

出所：FCC 公開資料より作成

１．３．２ 欧州

欧州の無線通信の技術基準に関しては、欧州電気通信標準化機構（ETSI）によって規格化されている。ETSI で規格化されている「EN 301 091」(Short Range Devices; Transport and Traffic Telematics (TTT); Radar equipment operating in the 76GHz to 77GHz range; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU; Part 1: Ground based vehicular radar）において、76GHz から 77GHz の範囲で動作するレーダー機器に関する技術基準が定められている。

「EN 301 091」の 4.3.2 では平均電力に関する技術基準が規定され、4.3.3 ではピーク電力に関する技術基準が規定されている。

4.3.2 Mean Power/ 4.3.2.3 Limits

平均電力は表 2 の限度を超えてはならない。

表 2：平均電力

	EUTs others than pulsed radar	Pulsed radar
Mean power(EIRP)	50dBm	23.5dBm
NOTE: For the purposes of this measurement, the averaging time shall be not greater than 100ms. If the result varies through the EUT cycle time the maximum value shall be taken as the result.		

4.3.3 Peak Power/ 4.3.3.3 Limits

固定ビームまたはスキャンアンテナを備えた EUT（Equipment Under Test）のピーク電力は 55dBm を超えてはならない。

※別途 EN 303 396 にて Peak Power は EIRP、dBm で表記することを規定

以上のように規定されており、欧州の加盟各国では上記の技術基準が採用されている。

１．３．３ オーストラリア

オーストラリアでは、オーストラリア通信・メディア庁（ACMA: Australian Communications and Media Authority）が 周波数の計画及び管理、無線局免許要件の順守、電波干渉の調査を所掌している。ACMA が発行する「Radiocommunications (Low Interference Potential Devices) Class Licence」において、76-77GHz レーダーの使用を認可している。

2025 年 10 月 1 日より発効された「Radiocommunications (Low Interference Potential Devices) Class Licence 2025」の Schedule Part9 において、76-77GHz の「radiodetermination radiocommunications transmitters」に関する技術基準が以下の通り定められている。

Table9

	Class of radiocommunications transmitter	Permitted operating frequency band	Maximum EIRP	Additional limitations
7	Radiodetermination radiocommunications transmitters	76-77GHz	See clause 59	See clause 59

59　表項目 7 の最大 EIRP および追加制限

無線通信送信機は、次のいずれかの要件に適合しなければならない。:

(a) EN 301 091-1;

(b) EN 301 091-2;

(c) EN 301 091-3.

注 1 : EN 301 091-1、EN 301 091-2、および EN 301 091-3 は、ETSI のウェブサイト（www.etsi.org）から無料で入手できる。

注 2 : EN 301 091-1、EN 301 091-2、および EN 301 091-3 はそれぞれ、無線通信送信機の最大 EIRP を規定している。

以上の通り技術基準は欧州の EN 規格に準ずることが定められている。

第２章　76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの高度化

２．１　高度化の方向性

日本における 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーは、制度化検討時（1997 年）には安全運転支援の機能として、主に追突防止や前車との車間距離を自動で調整することを目的として想定されていた。そのため、１．１に示したように空中線電力を 10mW（＝10dBm、当時の特定小電力の制限出力）とするとともに空中線利得を高めに設定（40dBi）し、特定小電力の空中線電力及び空中線利得のそれぞれに対して上限値が設定されている。

レーダーの検知距離は、EIRP に依存するため、空中線電力と空中線利得それぞれの上限値を規定する我が国における基準に従うと、視野角を拡げるには空中線利得を下げることになり、検知距離が低下するなど広角化と長距離検知を同時に実現する設計に一定の制約が生じている。

一方、海外では１．３に示したように EIRP に対しての上限値を設定しており、アンテナ設計と送信電力を柔軟に組み合わせることができる。そのため、視野角を拡げるために空中線利得を下げた場合でも、空中線電力を上げて検知距離を補うことができ、検知距離を維持したまま視野角を拡大する高機能なレーダーの導入が進められている。

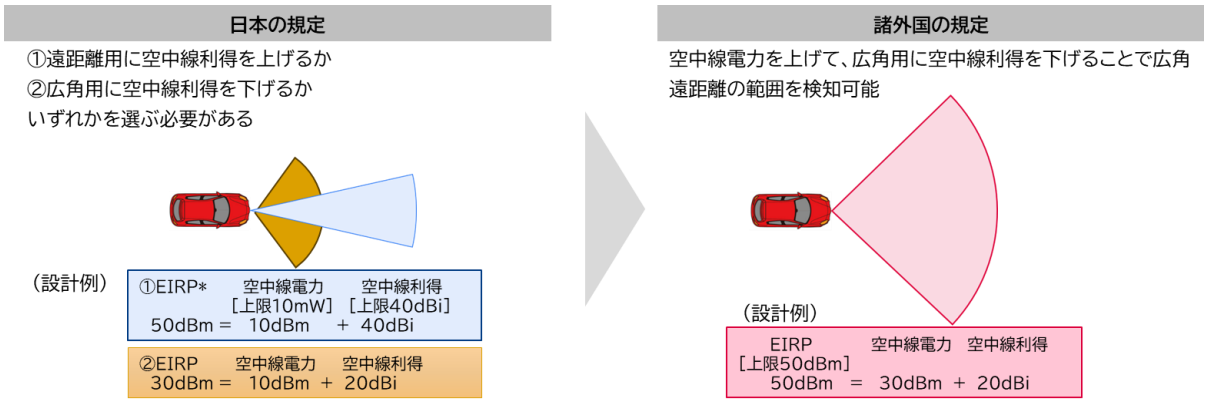


図　２－１　日本の規定と諸外国の規定によるレーダーの差

高度化にあたってはこのような技術動向および諸外国の動向を踏まえ、76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの更なる高度化を図る観点から、出力規制の在り方について検討する。

具体的には、EIRP の上限を規定し、その範囲内で空中線利得と空中線電力を設定できるようにすることで、必要とされる検知範囲に応じて柔軟に対応できるようにすることが効果的かつ現実的であると考えられることから、今回の高度化に関わる検討では、以上の考え方に基づき EIRP により制限する基準を導入するために必要な技術的条件の検討を行うこととする。

これは、車載センシング機器の性能や実装の自由度を向上させるとともに国内外の市場の整合、国際競争力の維持に資するところであり、電気通信機器の技術基準に関する相互承認協定の推進のもと、技術基準を諸外国と整合させる方向性とも合致する。

２．２　検討の方法

76GHz 帯小電力レーダーと同一周波数帯及び隣接周波数帯の使用状況を図 ２－２に示す。

同一周波数帯を含む帯域には、無線標定業務（レーダー）の他、電波天文業務が一次業務として割り当てられている。また二次業務としてアマチュア無線業務、宇宙研究業務が位置づけられている。

隣接周波数帯には、固定業務、固定衛星業務、移動業務および放送業務、放送衛星業務が存在する。そのうち実システムが存在する能動業務は、80GHz 帯高速無線伝送システムのみである。

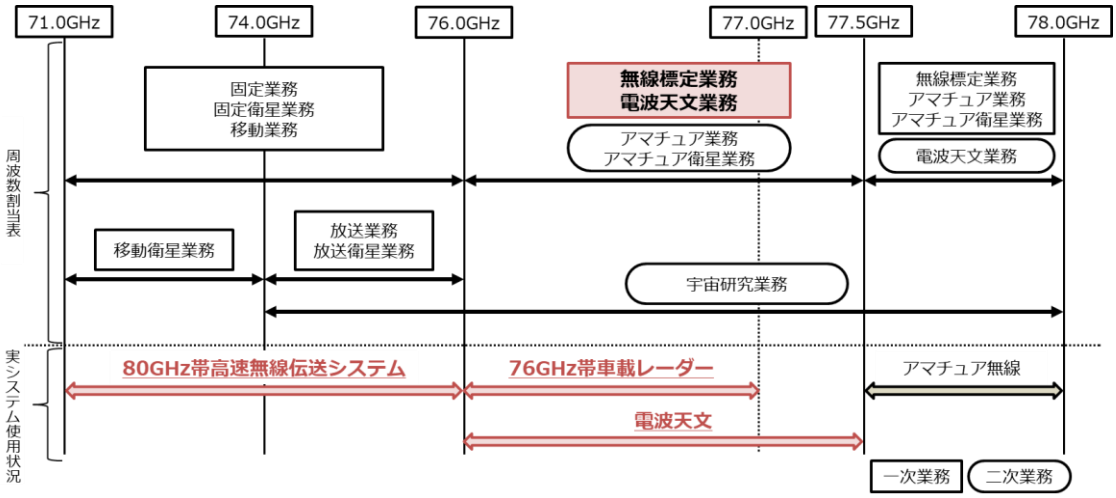


図　２－２　76GHz 帯および隣接周波数帯の使用状況

そこで、本検討では同一周波数を利用する電波天文業務および隣接周波数を利用する 80GHz 帯高速無線伝送システムとの共用検討を行うこととした。

あわせて、76GHz 帯小電力レーダー間の相互干渉、ならびに電波防護指針への準拠についても検討を行い、これらの検討を踏まえて技術的条件を検討した。

第３章　他の無線システムとの周波数共用の検討

想定する新型の 76GHz 帯小電力ミリ波レーダー（以下、「高度化レーダー」という。）と他の無線システムとの周波数共用についての検討を行った。

３．１　想定する新型 76GHz 帯小電力ミリ波レーダー

３．１．１ 諸元

今回の検討では、現行の 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーを基本とし、EIRP の最大値としては、現行制度の上限値である空中線電力 10mW（＝10dBm）および空中線利得 40dBi によって得られる等価等方輻射電力と同じ値である 50dBm を想定する。

想定する諸元を表 ３－１に示す。

表 ３－１ 高度化レーダーの諸元

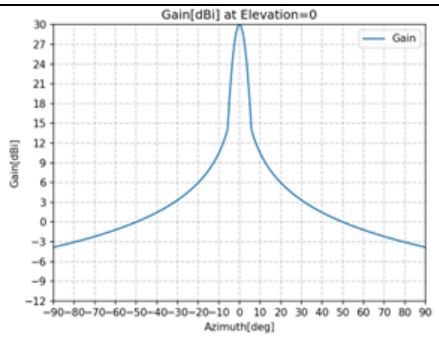
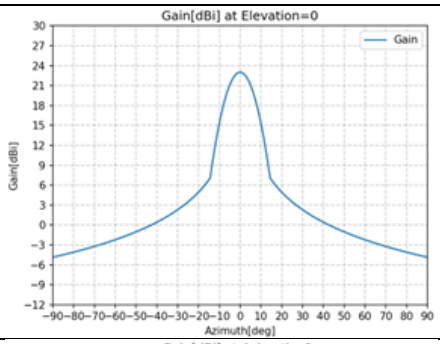
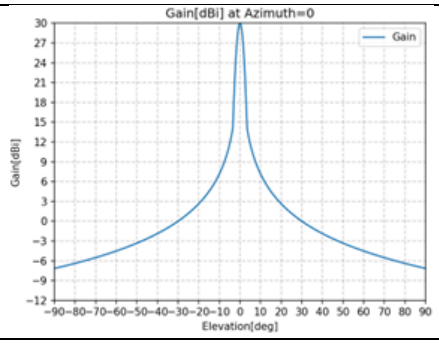
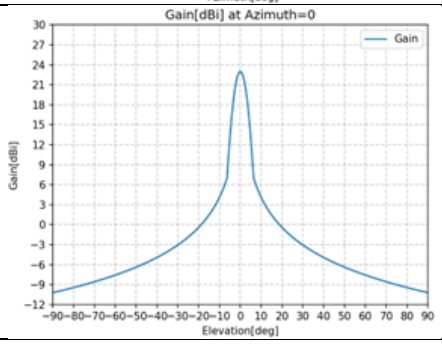
項目	想定
周波数	76.5GHz
周波数帯	76.0-77.0GHz
占有周波数帯幅	1GHz
等価等方輻射電力	50dBm 以下（現行の空中線電力、空中線利得から得られる等価等方輻射電力と同等）
変調方式	FMCW 方式

３．１．２ アンテナパターン及び空中線利得

アンテナパターンについては、ITU-R 勧告 M.2057-1 (Systems characteristics of automotive radars operating in the frequency band 76-81GHz for intelligent transport systems applications) では

表 ３－２のような 2 種類のアンテナパターンが示されている。

表 ３－２ ITU-R 勧告 M.2057-1 によるアンテナパターン

	ITU-R 勧告 M.2057-1 タイプ A	ITU-R 勧告 M.2057-1 タイプ B
特徴	レーダー前方を中心として遠距離へのレーダー照射を想定したレーダータイプ	レーダーの方位角を左右に広げ広範囲の検知を想定したレーダータイプ
方位角		
仰角		

出所：ITU-R 勧告 M.2057-1 を基に作成

しかしこれらは現行の 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーで用いられるアンテナパターンに近く、EIRP を用いた基準とすることにより広角化された場合にはアンテナパターンが異なることが想定される。

そこで、より広角域を検知することを目的としたブロードタイプのアンテナパターンを、米国 FCC 認証の過程で提出され公開されているアンテナパターンを参考に図 ３－１のように最大利得 15dBi を想定[1]して検討した。

[1] 自動車業界においては、空中線利得をさらに上げた正面方向への指向性の高いアンテナよりも、空中線利得を下げつつ空中線電力を上げることで現行の距離を保ったまま広角化したアンテナの方が望まれていると考えられる。

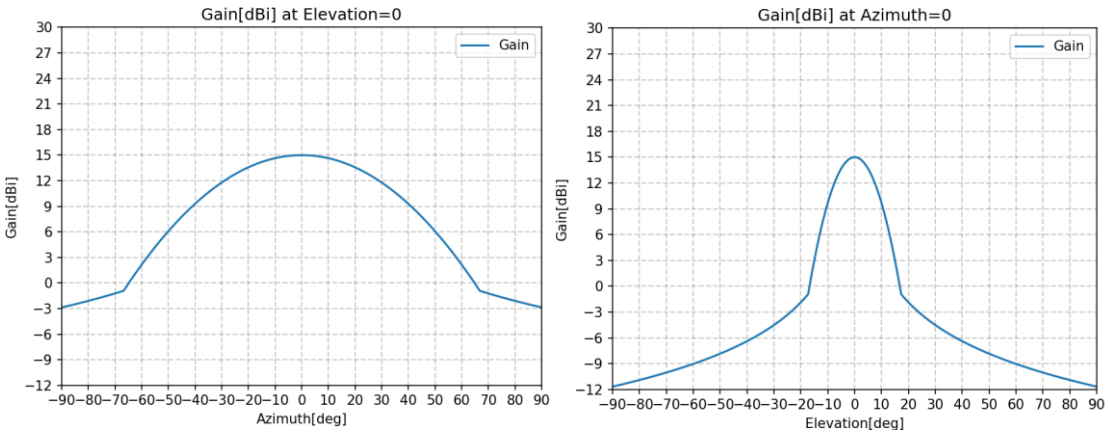


図　３－１　検討で利用したアンテナパターン（左：方位角、右；仰角）
[FCC 公開事例を参考にブロードタイプのアンテナパターンとして設定]

３．１．３ 空中線電力

高度化レーダーの空中線電力は、現在車載レーダーに用いられる半導体である MMIC（Millimeter-wave Monolithic IC）の Si 半導体や SiGe 半導体が、IC１つで発信できる電力値は最大でも 15dBm 程度であることから、実機を想定した最大電力として 15dBm（≒31.6mW）を用いた[2]。

３．１．４ Duty 比

車両のバッテリからの供給電力や使用温度環境の制限等から、車載センサ類は可能な限り低消費電力にすることが求められる。車両上のセンサ類の実装においては、観測周期の中で電波を発する時間は必要最小限としている。そのため、電波を送信している時間の観測周期に対する割合である Duty 比は極力小さく設計されているが、ここでは 50%とした。

[2] 将来的には技術的な進歩により物理的な限界値が大きくなる可能性があり、今後の検討課題の一つとなりうる。(第５章　本検討を踏まえた今後の課題と対応参照)

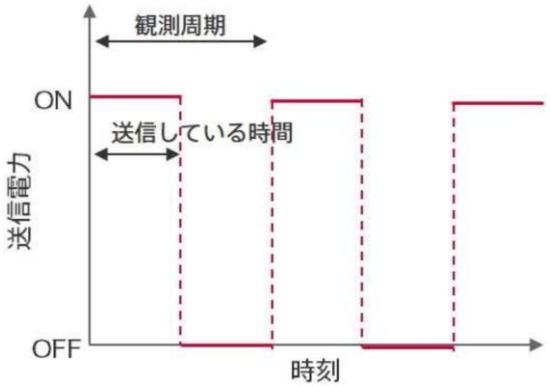


図 ３－２ レーダーの送信パターン例

３．１．５車両への搭載方法

1台の車両へのレーダーの搭載台数は、最大では前方、前方左右、後方左右の5台までの搭載が想定され得る。ただし、現在76GHz帯レーダーは主な用途としてACC等の運転支援システムにおいて前方の車両検知用に用いられており、今回の高度化により検知範囲を広角化することができれば前方左右方向までをカバーできる可能性が高いことや、車両前方以外の周辺における物体検知には76GHz帯以外のレーダーも用いられていることから、高度化レーダーについては車両1台につき1台が前方方向に搭載されるものと想定した。

なお、車両に搭載の際にはレーダーを露出させることは無く、アンテナをカバーするレドーム、前方への搭載時には車両フロント部のグリルカバー、後方や側方の搭載時にはバンパー等がアンテナの前に存在することとなるが、ここではそれらの損失はシミュレーション上考慮しないこととした。

３．２　電波天文業務との共用

３．２．１ 検討方針

ア　検討内容

76GHz帯は電波天文業務も1次業務として使用しており、総務大臣が告示で指定した電波天文業務の用に供する受信設備が受信する周波数となっている。高度化レーダーの導入にあたり、電波天文業務に有害な混信を与えないよう措置することが求められることから、高度化レーダーから電波天文の受信設備への影響について検討を行った。

なお、海外では観測所周辺における人工的な電波放射を抑制するための空間的・制度的措置として「Radio Quiet Zone（RQZ)」が導入されている例がある。

（詳細は、参考資料１(キ)を参照）

イ　76GHz 帯を観測する日本国内のサイト

2026 年１月現在、電波天文業務として 76GHz 帯を観測するサイトとして運用されているのは、国立天文台野辺山宇宙電波観測所（以下、「野辺山天文台」という。）であり 45m 電波望遠鏡による観測が行われている。また、超長基線電波干渉法（VLBI: Very Long Baseline Interferometry）による電波天文観測を行う VERA （VLBI Exploration of Radio Astrometry）のサイト４局（水沢、父島、入来、石垣）において運用を計画・準備中である。

野辺山天文台は、表 ３－３に示すように 76GHz～77.5GHz において電波法第 56 条第１項の規定による電波天文業務の用に供する受信設備の指定を受けている。

表 ３－３ 電波天文業務の用に供する受信設備の指定状況

告示	設置者	設置場所（地番、緯度経度省略）	受信しようとする電波の周波数	期間
令和５年 総務省告示 第 107 号	自然科学研究機構	・ 長野県南佐久郡南牧村野辺山	15.35GHz～15.4GHz 22.21GHz～22.5GHz 23.6GHz～24.0GHz 31.3GHz～31.8GHz 42.5GHz～43.5GHz **76.0GHz～77.5GHz** 79.0GHz～94.0GHz 94.1GHz～116.0GHz	令和５年 ３月 25 日 ～ 令和 15 年 ３月 24 日
令和２年 総務省告示 第 415 号	自然科学研究機構	・ 岩手県奥州市水沢星ガ丘町 ・ 東京都小笠原村父島字旭山 ・ 鹿児島県薩摩川内市入来町浦之名 ・ 沖縄県石垣市字登野城嵩田	22.21GHz～22.5GHz 23.6GHz～24.0GHz 42.5GHz～43.5GHz 85.5GHz～92.0GHz	令和２年 12 月 10 日 ～ 令和 12 年 12 月９日
令和２年 総務省告示 第３号	東北大学	・ 宮城県大崎市鳴子温泉蓬田 ・ 宮城県登米市米山町字桜岡貝待井 ・ 宮城県刈田郡蔵王町遠刈田温泉七日原 ・ 福島県相馬郡飯舘村前田字前田	25.55MHz～25.67MHz	令和元年 12 月 20 日 ～ 令和 11 年 12 月 19 日
平成 30 年 総務省告示 第 363 号	東海国立大学機構	・ 山梨県南都留郡富士河口湖町富士ヶ嶺 ・ 長野県木曽郡上松町大字小川字才児山 ・ 愛知県豊川市穂ノ原	325.75MHz～ 328.60MHz	平成 30 年 12 月２日 ～ 令和 10 年 12 月１日

出所：総務省電波利用ポータル　総務省電波関係法令集（内容現在 令和７年１月１日）より作成

ウ　検討方法

受信設備への与干渉量については以下の考え方に基づき算出した。

① 車両１台ごとの与干渉量は、送信側の性能・電波伝搬の過程で生じる損失・受信側の性能により導出

② 車両複数台による与干渉量は、車両１台が与える与干渉量を積み上げて算出

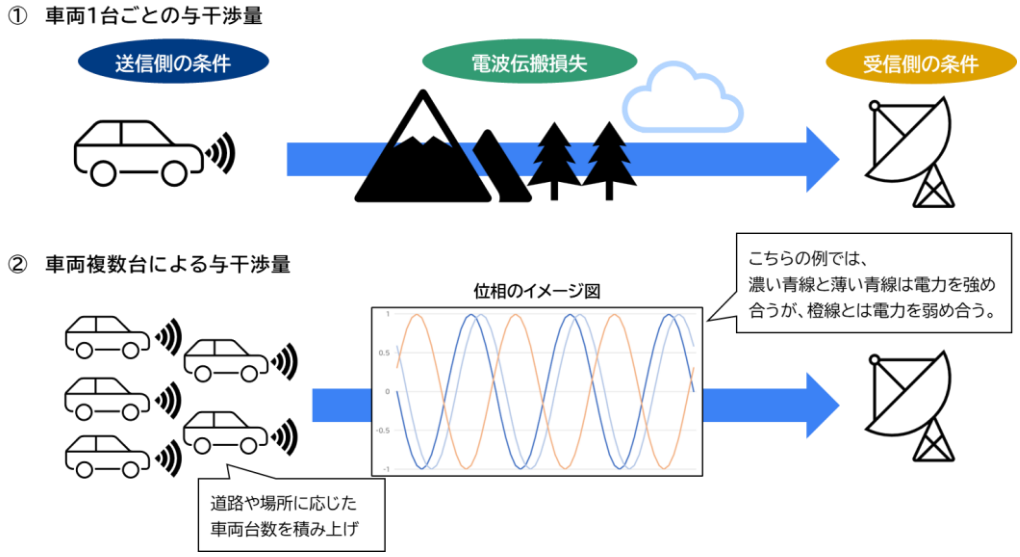


図 ３－３ 与干渉量算出の考え方

なお、干渉検討にあたっては電波天文業務として 76GHz 帯の観測を行っている野辺山天文台の 45m 電波望遠鏡の受信設備を具体的な対象として実施した。

３．２．２ 電波天文業務の受信設備

ア 76GHz 帯を観測する受信設備の諸元

電波天文業務における 76GHz 帯の受信設備の諸元を表 ３－４に示す。

受信アンテナ利得に関して、野辺山天文台のような大型パラボラアンテナによる地上から波長が非常に短い 76GHz 帯の電波を観測する場合の推定手法について複数あり、これまでの干渉検討で採用されている ITU-R 勧告 RA.769-2（Protection criteria used for radio astronomical measurements）において一般的な干渉基準（“the general interference criteria”）とされている 0dBi を適用した。

（詳細は、参考資料 1(ア)①を参照）

表 ３－４ 電波天文の受信設備の諸元

パラメータ	設定値
周波数	76.0-77.0GHz
許容干渉電力	-198.4dBm/MHz
受信アンテナ利得	0dBi（ITU-R 勧告 RA.769-2 に従って設定）
指向性	なし

イ　電波天文業務の許容干渉電力

ITU-R 勧告 RA.769 の Table 1 に示されている、本検討の対象に近い 89GHz の値から許容干渉電力（干渉しきい値）として-189.39dBW が導出される。

この値からレーダーの送信する帯域幅 1GHz を用いて 1MHz 当たりに変換すると、-189.4dBm/MHz が算出される。欧州 CEPT による ECC Report 350 では-189dBm/MHz を採用している。一方で、ITU-R 勧告 RA.769 の Table 1 に記載された帯域幅 8,000MHz で 1MHz 当たりに変換すると、-198.4dBm/MHz が算出される。

今回の電波天文業務の許容干渉電力については、電波天文業務側から提示された -198.4dBm/MHz を適用した。

（詳細は、参考資料 1(ア)②を参照）

３．２．３ 車両１台ごとの与干渉量の検討

まず、受信設備に対向した１台の高度化レーダーからの影響を試算した。

３．１．１で想定した高度化レーダーの諸元（表 ３－１）および３．２．２の電波天文の受信設備の諸元（表 ３－４）に基づき、ITU-R 勧告 RA.769-2 の電波伝搬モデル（大気減衰・水蒸気減衰パラメータ 0.15dB/km を採用）を用いて、自由空間における LoS（Line of Sight）での離隔距離を算定したところ、基準値の上限である EIRP 50dBm でレーダーが対向したシングルエントリーでの干渉として離隔距離として約 270km が算出された。

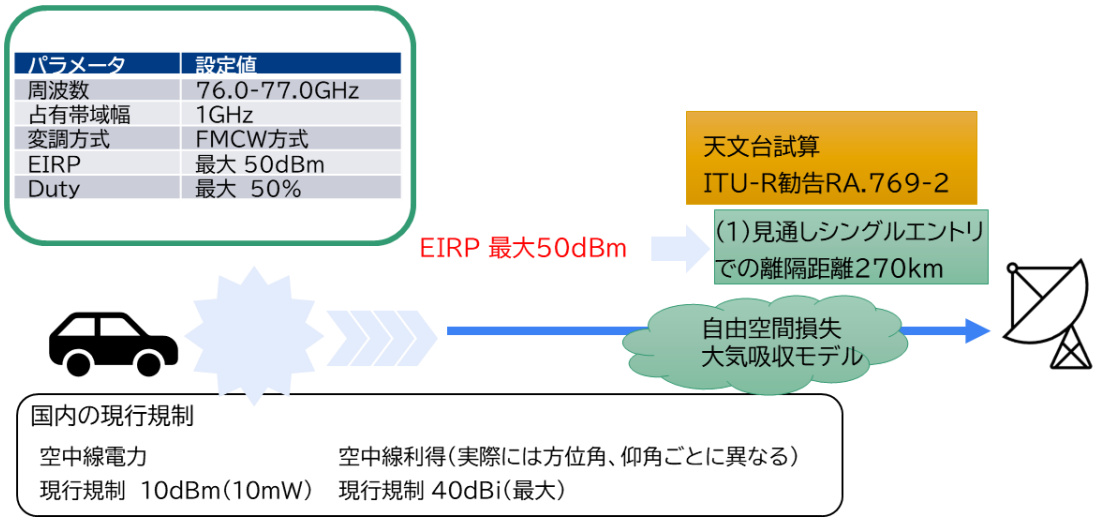


図 ３－４ 受信設備に正対する１台のレーダーからの影響

３．２．４ 複数車両からの与干渉量の検討

３．２．４．１　検討手順

厳密に検討を行うには、受信設備周辺の全道路を走行する車両台数、車両の位置や方向を踏まえ、各車両の搭載されているレーダーのアンテナパターンに基づき影響を算出することが望ましい。しかし、解析の対象として細街路等を含む全ての道路を網羅して実施することは現実的ではない。また、交通量が多く受信設備を見通すことができる道路と、交通量が少ないまたは受信設備を見通すことができない道路では、与干渉量に与える影響が大きく異なる。

そこで本検討においては、以下の 2 つのモデルを組み合わせて、与干渉量に関するシミュレーションを行った。

①　交通量モデル：交通量が多く受信設備を見通すことができる道路
→車両の面的な分布と台数をより精緻に反映するため、道路ごとの交通量に基づき、ランダムに車両を走行させ一定時間における与干渉量の平均を算出

②　車両密度モデル：交通量が少ないまたは受信設備を見通すことができない道路
→周辺エリアを微小単位のメッシュに分割し、メッシュごとの車両密度を各市区町村全体の車両登録台数と車両の稼働率に基づいて算出して与干渉量を算出

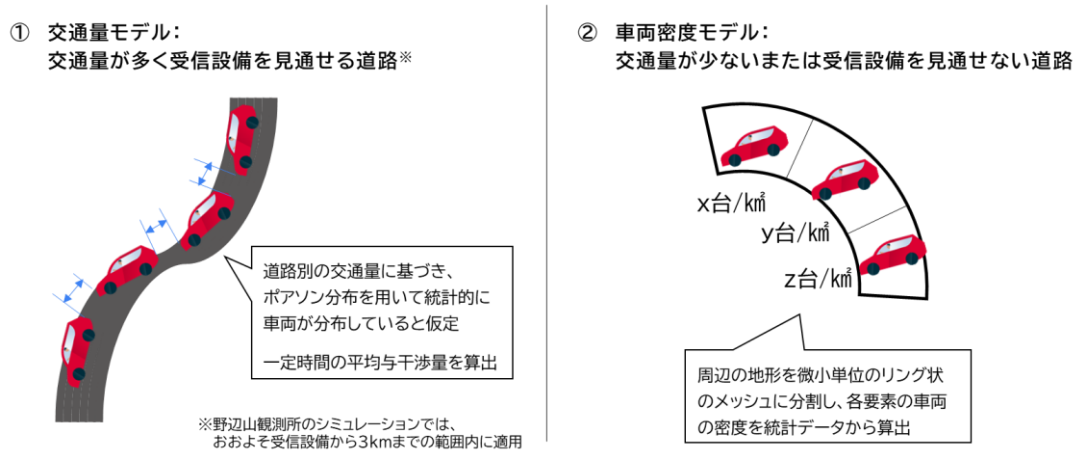


図　３－５　交通量モデルと車両密度モデル

2 つのモデルから算出した与干渉量を合算することで広域に散在する複数車両の影響について算出、評価した。

干渉検討の概略手順を図　３－６に示す。

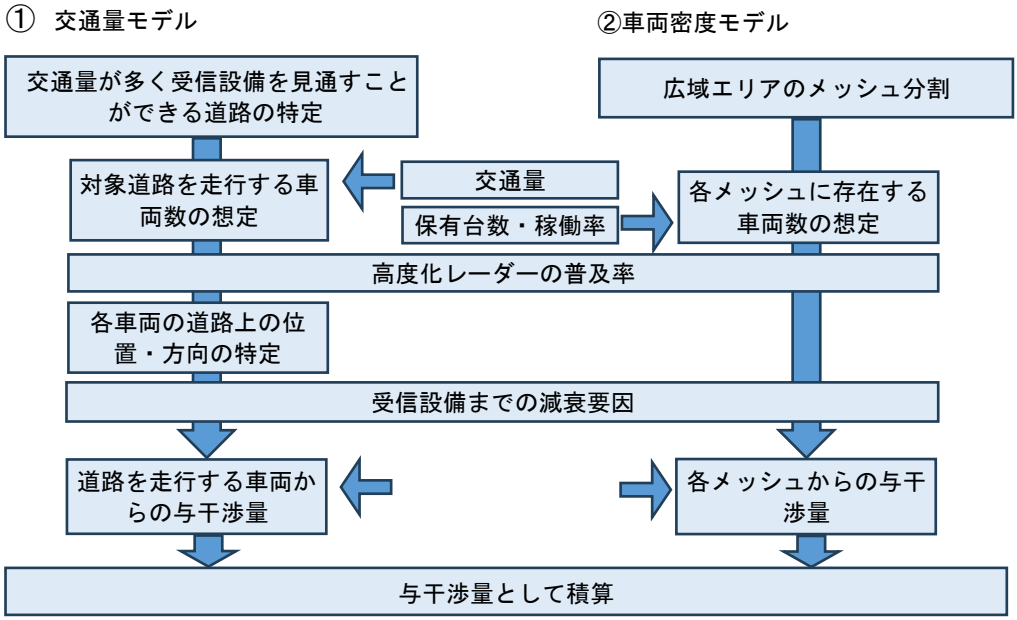


図　３－６検討の手順

３．２．４．２　交通量モデルに基づく算出

ア　対象道路の特定

交通量モデルに基づく算出方法として、受信設備近傍において受信設備への見通しが取れる主要道路を対象とした。主要道路を図　３－７に示す（受信設備への見通しが取れる主要道路を紫色にて表示）。

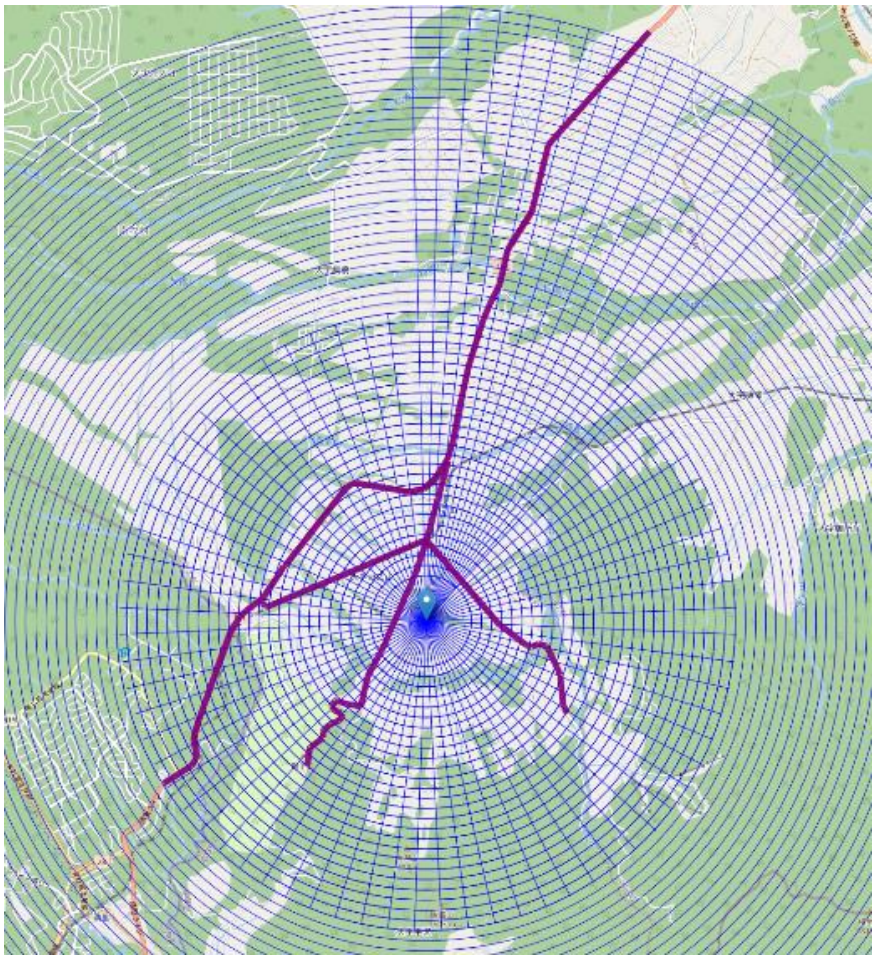


図　３－７受信設備周辺の主要４路線（紫色にて表示）

出所：© OpenStreetMap contributors による地図に加筆

（詳細は、参考資料 1(イ)②を参照）

イ　車両台数

当該主要道路の統計や実測に基づく交通量に基づき通過車両台数を設定した。

（詳細は、参考資料 1(イ)③を参照）

ウ　高度化レーダーを搭載する車両の普及率

複数車両からの与干渉量を試算するためには、高度化レーダーを搭載する車両数が必要である。高度化レーダー搭載車の普及率について予測を行った。（表　３－５）

新車の販売台数については、将来も 2024 年と同様（販売される台数のグレード別の構成も同様）とした。既存車両を含む全車両保有台数についても 2024 年から変わらない（新車販売台数と同数が廃車になる）ものとした。なお車両台数の実績値は、地域性を加味するため、全国の傾向と大きくは変わらないものの長野県、山梨県における実績値を利用した。

グレード別の普及の進み方については以下を想定した。

- 上位グレードの輸入車（表中⑤）については、欧米等で類似仕様のレーダーが既に搭載されていることも多いことから、制度化の後に必要な評価・改良を行いマイナーチェンジに合わせて早期に市場に投入
- 普通車上位グレード車（表中④）については、制度化後に次期モデルとして開発が開始される車両に搭載され、各車のフルモデルチェンジに合わせて順次市場に投入
- 普通車上位グレードの普及が進む中で下位グレード（表中③）についても各車のフルモデルチェンジに合わせて市場に投入
- その後、小型自動車（表中①）、軽自動車（表中①）の新型車両にも搭載されて市場に投入

（詳細は、参考資料 1（エ）参照）

表　３－５高度化レーダーの普及率の予測

		想定年間新規販売車両（千台）※1	上段：新規販売車両数(高度化レーダー搭載済み)の予測結果(千台) 下段：うち高度化レーダー搭載車の比率(%) 2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	2036年	2037年
① 軽自動車 （軽乗用車・軽貨物）		55.03							1.65 (3%)	2.75 (5%)
② 小型自動車 （小型乗用車・小型貨物）		23.74							1.42 (6%)	1.66 (7%)
普通自動車 （普通乗用車・普通貨物）	**③ 下記ハイグレード④⑤を除く普通自動車**	34.42						1.72 (5%)	4.13 (12%)	6.88 (20%)
	④ ハイグレード国産車 例：レクサス・アルファード・ヴェルファイア・クラウン・プリウス・アリア・アコード	8.03		0.24 (3%)	0.40 (5%)	0.80 (10%)	1.61 (20%)	3.21 (40%)	6.83 (８５%)	8.03 (100%)
	⑤ ハイグレード輸入車 例：BMW・メルセデスベンツ	2.44	1.46 (60%)	1.95 (80%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)
年間販売台数(高度化レーダー搭載済み) 合計 (千台)			1.46	2.19	2.84	3.24	4.05	7.37	16.47	21.77
累計販売台数(高度化レーダー搭載済み)　(千台)			1.46	3.65	6.49	9.74	13.78	21.15	37.63	59.40
高度化レーダー搭載車の普及率（%）			**0.1%**	**0.1%**	**0.3%**	**0.4%**	**0.5%**	**0.８%**	**1.5%**	**2.3%**

[表:青枠]：各グレード別の各年の新規販売車両※2 のうち、高度化レーダーを搭載する車両数と割合
[表:黄色]：累計の販売台数（高度化レーダー搭載済み）
[表:赤枠]：自動車保有台数※3 に占める高度化レーダー搭載車の普及率
※1 自動車保有台数の推移の傾向に基づき、新規販売車両数が一定であると仮定。
※2 長野県・山梨県における年間新車販売台数および日本の新車販売台数の車種別構成比(2024 年)を基に算出
※3 長野県・山梨県における四輪車の自動車保有台数の合計値 2,590 千台(2025 年)を基に算出
※4 普及率は株式会社三菱総合研究所の予測に基づき算出

なお、普及台数はその時点の市場環境等により変動するため、想定した普及率と実際の普及率は必ずしも一致しないことが想定される。また、普及率の差異はシミュレーション結果の時間軸に反映されるものである。

エ　車両の分布と道路上の位置・方向の特定

対象とする各道路の交通量に基づき車両を確率的に道路上に配置し、50 ミリ秒ごとの車両の位置と向きを特定した。

（詳細は、参考資料 1（イ）④、参考資料 1（イ）⑤を参照）

オ　減衰量

道路上の高度化レーダーを搭載する車両から受信設備までの減衰量は、送出電力の減衰モデル（電波伝搬モデル）として、車両から受信設備までに存在するメッシュの条件（３．２．４．３（ア）で分割した各メッシュの特性を利用）を踏まえ、以下の項目を反映した算出を行った。

（詳細は、参考資料１(オ)を参照）

表　３－６各項目の算出方法

項目	算出方法
自由空間伝搬損失	大気、酸素・水蒸気吸収損として[0.15dB/km]を反映
地球球面による回折損失	等価地球半径導入による地球の丸みを考慮した回折損失を反映
地形による回折損失（リッジ回折損失）	受信設備-干渉源間の地形（標高）に基づきナイフエッジ回折モデルにより回折損失を反映。（ナイフエッジ回折モデルを採用するためクラッタ損失は考慮しない。）
植生損失	各メッシュに基づく植生の深さから損失量を計上
バンパー損失	本干渉検討内では含めない。

カ　指向性等の考慮

交通量モデルに基づく算出では、受信設備に対する主要道路上の車両の進行方向に基づき、高度化レーダーの受信設備への入射角が変化すると考えられるため、受信設備へのレーダーの入射角に基づく指向性を考慮し、高度化レーダーのアンテナ利得を反映した算出を行った。

また、各車両のレーダーは同期しておらず位相はランダムであるとして、モンテカルロ法により各レーダーの位相分布に基づく電力の重ね合わせのシミュレーションを行った上で与干渉量の算出を行った。

（詳細は、参考資料１(カ)を参照）

３．２．４．３　車両密度モデルに基づく算出

ア　メッシュの設定

高度化レーダーから発生する電力は、実際には面的に散在する車両に搭載された高度化レーダーによる発生量の累積量となる。

そのため、受信設備周辺の広域に散在する複数車両からの発生量の算出に向けて、受信設備周辺を微小単位の解析要素であるメッシュに分割し、分割した各メッシュに含まれると考えられる車両からの電力発生量の総量を算出した。

メッシュとしては受信設備周辺を図　３－８に示すようなリング状に分割した。メッシュは受信設備を中心とする同心円状に分割し、受信設備からの距離方向（縦方向）で

1,000m、円周方向（横方向）で 2,000m を超えないサイズとした。なお、受信設備の近傍(受信設備からの距離 5km 以内)のメッシュについては､距離方向の分割長さを 100m、円周部の分割角度を 128 分割（円周距離 245m 以内）とし分解能を高めた。

（詳細は、参考資料 1(ウ)②、参考資料 1(ウ)③を参照）

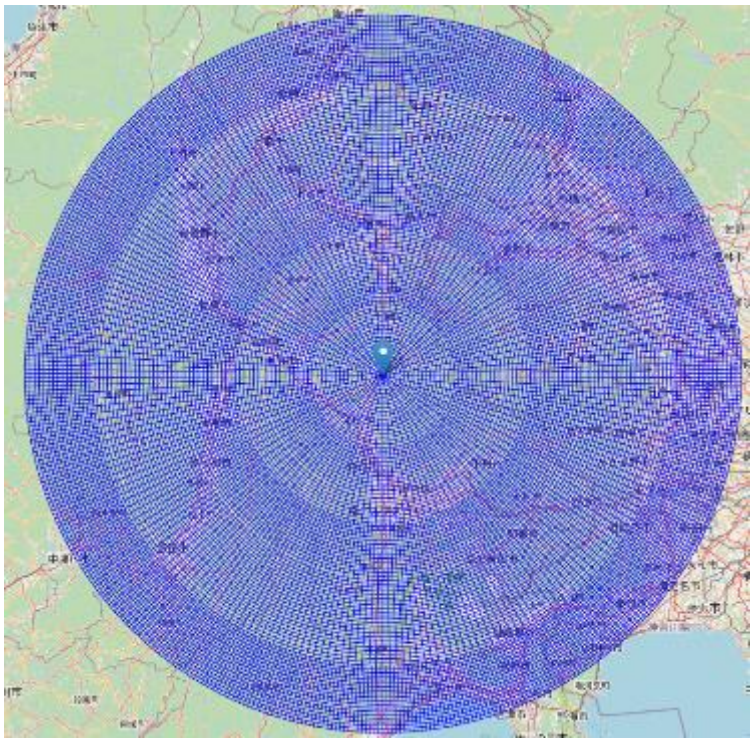


図 ３－８メッシュ分割方法（リング状メッシュ）

出所：© OpenStreetMap contributors による地図に加筆

イ　車両台数

メッシュが存在する各市区町村の車両登録台数に基づき、車両の単位面積あたりの存在密度を求め、当該密度を基に各メッシュの電力発生量を算出する。具体的な算出方法としては、単位面積あたりの車両台数密度、車両の昼間の稼働率に基づき、メッシュ内に存在し稼働している車両数を求めた。

（詳細は、参考資料 1(ウ)④を参照）

具体的には以下の算出式に基づき算出を行った。

メッシュ内の車両数 ＝ メッシュ面積×車両台数密度×稼働率

ここで、上記計算式における各項は以下の想定により算出した。

表　３－７各項目の算出方法

項目	算出方法
メッシュ面積	各メッシュの面積
車両台数密度	メッシュが属する各市区町村の車両保有台数に基づいて算出した単位面積あたりの車両密度
稼働率	車両保有台数のうち稼働している車両の割合（稼働率）を算出（昼間 12 時間の稼働率を想定）

ウ　高度化レーダーを搭載する車両の普及率

高度化レーダーを搭載する車両の普及率は、交通量モデル（３．２．４．２（ウ））と同様とした。

エ　減衰量

各メッシュから受信設備までの減衰量は、交通量モデル（３．２．４．２（オ））と同様とした。

オ　指向性等の考慮

算出においては、車両の向きはランダムとして、指向性は考慮しないものとした。

また、各車両のレーダーは同期しておらず位相はランダムであるとして、モンテカルロ法により各レーダーの位相分布に基づく電力の重ね合わせのシミュレーションを行った上で与干渉量の算出を行った。

（詳細は、参考資料 1(カ)を参照）

３．２．４．４　与干渉量の積算

与干渉量は各年での高度化レーダーの普及率に基づき変化するため、本検討では、各年における与干渉量の算出結果について、それぞれ受信設備における干渉の判定を行った。干渉の判定では受信設備の被干渉モデルとして、３．２．２に基づく受信設備の許容干渉電力、受信アンテナ利得を使用した。

本検討ではモンテカルロ法によるシミュレーションのうち、試行回数全体の 98%の与干渉量がその範囲内に収まる与干渉量を 98%値と定義し、当該与干渉量と受信設備の許容干渉電力（-198.4dBm/MHz）を比較し判定を行った。

図　３－９に 2031 年時点（普及率:0.1%）、空中線電力 15dBm（アンテナ利得は３．１．２を参照）での受信設備への与干渉量の算出結果を示す。

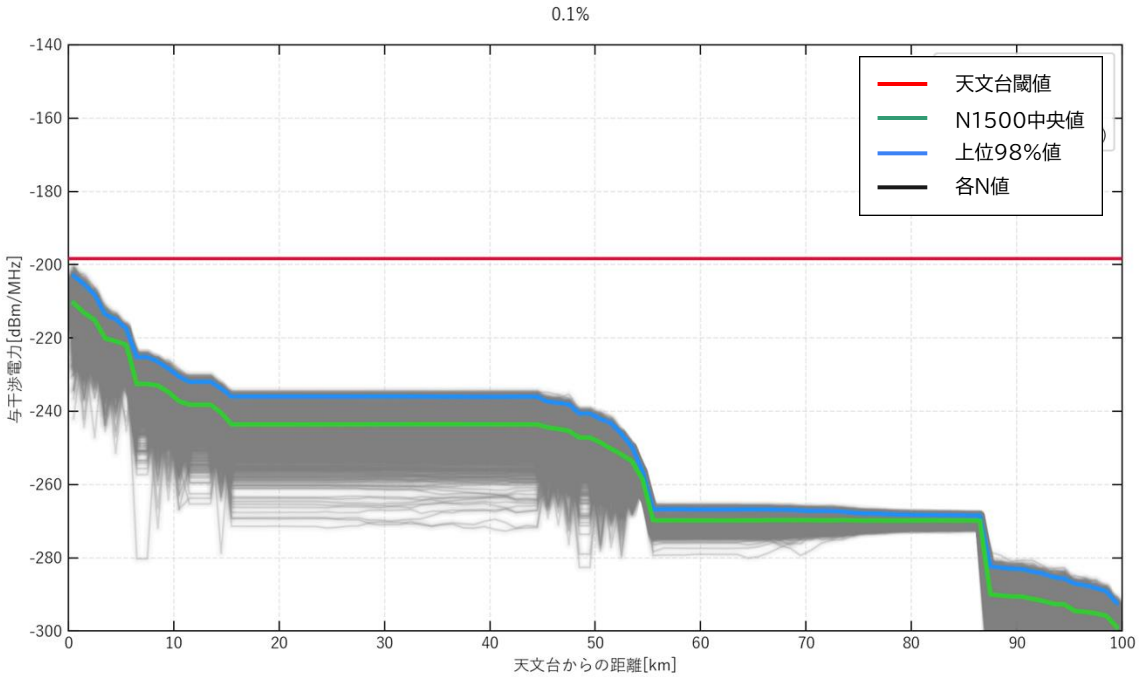


図　３－９受信設備への与干渉量　[2031 年、普及率 0.1%、レーダー出力 15dBm]

グラフの横軸は受信設備からの距離、縦軸は受信設備への与干渉量（遠方からの積算値）で、モンテカルロ法（試行回数 N=1500）による位相の重ね合わせを考慮したシミュレーションの試行結果を示した。

緑色の線は全試行回数のうちの中央値、青色の線は上位 98%値（試行回数全体の 98%の与干渉量がその範囲内に収まる与干渉量）で、受信設備の許容干渉電力は赤線で示している。

なお、試行により与干渉量に差があるのは、各レーダーの位相が重なり電力が強め合う方向に働いたケースと、各レーダーの位相が反転した状態で重なり電力を弱め合う方向に働いたケースの両者が存在するためである。

各年の普及率の推移予測に基づき、与干渉量の算出を行った結果は表　３－８に示すとおり。下記の算出結果のうち、本報告書の普及率の予測においては、2032 年以降に与干渉量の 98%値が受信設備の許容干渉電力を超過すると考えられる。

表 ３－８ 算出結果

項目		普及率 100%の場合	2031 年	2032 年	2036 年
空中線電力（dBm） ［物理的上限値※］		15	15	15	15
等価等方放射電力(dBm)		30	30	30	30
レーダー普及率		100%	0.1%	0.3%	1.5%
与干渉量 (dBm/MHz)	中央値	-180.48	-210.469	-205.697	-198.708
	98%値	-173.115	-203.046	-198.274	-191.285

※ 空中線電力の物理的上限値とは、現状の車載用ミリ波半導体が出力できる物理的な限界のこと

３．２．５ 共用検討の結果

電波天文業務に関しては、半導体レーダーの最大出力の実力値を考慮した EIRP 30dBm を仮定し、車両 1 台につき 1 台のレーダーが設置された場合の計算では、高度化レーダーを搭載した新型の車両が市場に投入されても本報告書の普及率の予測においては、2031 年までは電波天文業務に影響を与える可能性は低く共用が可能であることが確認された。

高度化レーダーが将来的に普及した段階において影響を与える可能性は否定できないものの、高度化レーダー搭載車の普及までは一定程度年数がかかり、その間に影響を緩和する方策の検討や実際に影響を与える程度についての検討を進め、与干渉量が許容干渉量を超えるとされた場合は、事前に与干渉量を低減させる方策を講じることで共用は可能と考えられる。

３．３　80GHz 帯高速無線伝送システムとの共用

76GHz 帯小電力レーダーの隣接周波数帯に導入された 80GHz 帯高速無線伝送システムは、それぞれの制度整備の際に、必要に応じて技術検討を行った上で、実運用上、周波数の 共用・共存が可能との整理がなされた上で導入されている。

今回の検討においては、隣接周波数に影響する「帯域外領域（74.5～76.0GHz 及び 77.0～78.5GHz）における不要発射の強度」および「スプリアス領域（～74.5GHz 及び 78.5GHz～）における不要発射の強度」に関する技術基準は、現行規定（帯域外領域で 100μW 以下、スプリアス領域で 50μW 以下）から変更がないことを想定しており、ひきつづき共用は可能であると考えられる。

なお、過去の検討では以下のように整理されている。

『情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会報告（案）「業務用陸上無線通信の高度化等に関する技術的条件」のうち、「80GHz 帯高速無線伝送システムのうち狭帯域システムの技術的条件」』における車載レーダーから狭帯域システムへの干渉の検討結果は以下とされており、共用は可能と位置づけられている。

> 上記検討結果から、狭帯域システムに対する車載レーダの与干渉は、狭帯域システムのサイトエンジニアリングにより回避可能である。
>
> 今回の検討では、被干渉となる狭帯域システムが都市内街路と平行に設置され、与干渉となる車載レーダの空中線を道路の進行方向に向けている場合を中心に計算した。この場合、被干渉と与干渉がある程度離れた距離のときに、両者の空中線の離角がほぼ 0 度になるために干渉が最も大きくなるとの結果が得られた。このような条件で最大値となる場合には、被干渉側の車載レーダの空中線は、前方に位置する車両がブロックすることになるので、シングルエントリーでの検討を中心に進めればよいものと考えられる。
>
> 一方、狭帯域システムをモバイルバックホール回線等に適用する場合には、建物の屋上への設置など様々な形態が想定され、この形態では比較的近い距離において、両者の空中線の離角がほぼ 0 度になる場合が考えられ得る。しかし、干渉の最大値が比較的近くの距離となることから、狭帯域システムと車載レーダの位置関係から事前に干渉の発生場所を特定し易いことや、狭帯域システムの空中線指向特性が鋭く、狭帯域システムのサービス自体も被干渉となる車両の遮蔽による影響が考えられることなどから、詳細検討の必然性は比較的低いものと考えられる。

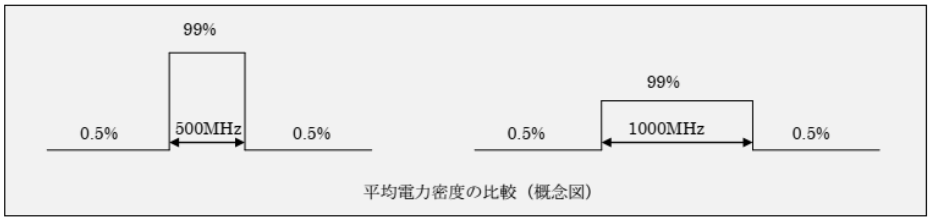
出所：情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会報告（案）「業務用陸上無線通信の高度化等に関する技術的条件」のうち、「80GHz 帯高速無線伝送システムのうち狭帯域システムの技術的条件」[3]

『情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会報告（案）「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの高度化に関する技術的条件」』においては、76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの占有周波数帯

[3] https://public-comment.e-gov.go.jp/pcm/download?seqNo=0000112194

幅の変更（500MHz 幅から 1GHz 幅への拡張）による影響の検討が行われ、以下のように共用は可能と位置づけられている。

占有周波数帯幅が 500MHz から 1GHz に拡大してもレーダーから発射される総電力（空中線電力 0.01W 以下）は変わらない為、99%の電力範囲の定義から算出される不要発射の電力の最大値（片側 0.5%=0.05mW）も変化しない。



80GHz 帯高速無線伝送システム作業班においては、ITU-R 勧告(M.2057)に記載の Radar A のパラメータを用いて、76GHz 帯レーダーから 80GHz 帯高速無線伝送システムへの干渉の影響が検討され、サイトエンジニアリング対応により、76GHz 帯レーダーと共存可能との結論が出ている（18 頁参照）。

出所：情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会報告（案）「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの高度化に関する技術的条件」[4]

なお、EU における基準（ETSI EN 301 091）では、電力として EIRP 50dBm 以下を規定するとともに、不要発射は RMS 平均 PSD 0 dBm/MHz 以下、スプリアス領域での発射は -30 dBm EIRP（RMS）以下を規定している。

4.3.4 Unwanted emissions in the out-of-band domain

Table 4: Limits for out-of-band radiation [i.4]

Frequency [GHz]	RMS mean power spectral density [dBm/MHz]
$F_1 \le f < f_L$	0
$f_H < f \le F_2$	0

4.3.5 Unwanted emissions in the spurious domain

Table 5: Limits of radiated spurious emissions [i.4]

Frequency range (MHz)	Limit values for spurious radiation	Detector type
47 to 74	-54 dBm e.r.p.	Quasi-Peak
87,5 to 118	-54 dBm e.r.p.	Quasi-Peak
174 to 230	-54 dBm e.r.p.	Quasi-Peak
470 to 790	-54 dBm e.r.p.	Quasi-Peak
otherwise in band 30 to 1 000	-36 dBm e.r.p.	Quasi-Peak
f > 1 000 to 300 000 (see note)	-30 dBm e.i.r.p.	RMS
NOTE: Measurement is only required up to the 2nd harmonic of the fundamental frequency (as defined in CEPT/ERC/REC 74-01 [i.4]). In this case, the upper frequency limit up to which measurements are performed is 154 GHz.		

[4] https://www.soumu.go.jp/main_content/000329084.pdf

出所：ETSI EN 301 091-1 V2.1.1 (2017-01)[5]

不要発射は EIRP で 0dBm/MHz とされているが、アンテナ端の基準に換算すると数 μW～数十 μW 程度にあたり、スプリアス領域での発射と併せて日本の現行の基準値を下回る基準となっている。このことから新制度化（EIRP 50dBm 以下）において現行の 10mW を超える電力を発射する場合でも、現行基準の範囲に収める実装は可能と判断される。

[5] https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301000_301099/30109101/02.01.01_60/en_30109101v020101p.pdf

３．４　76GHz 帯小電力ミリ波レーダー間の相互干渉

76GHz 帯小電力ミリ波レーダー間の相互干渉についての検討を行った。

高度化レーダーで想定する最大の EIRP は 50dBm であり、規定上の干渉電力の最大値は現規定と同等である。また、この値は欧米法規と同等である。

実用に近い想定で現行制度によるレーダーへの影響を試算した結果、今回の高度化によるレーダー間の相互干渉への影響は限定的であり、現状システムの想定を超えるような影響ではないため、新たな問題が生じる可能は極めて低いと考えられる。

なお、現行制度によるレーダーについても干渉下での動作は必須の状況であり、各種の干渉対策技術が検討され、市場レーダーに実装、実用化されている。今後のレーダー普及率の増加を踏まえ各事業者での継続した技術開発が期待されるところではあるが、当面問題は発生しないと考えられる。

（詳細は、参考資料 2 を参照）

３．５　電波防護指針への準拠

ミリ波レーダーから発射される電波の強度は電波防護指針に適合する必要がある。電波防護指針において 76GHz 帯の無線機器が満たすべき条件を表 ３－９に示す。

76GHz 帯においては体内に到達する電界は極めて小さいことから、任意の体表面に入射する電力密度が 2mW/cm^2 を下回る条件を確認した。

表 ３－９電波防護指針において 76GHz 帯の無線機器が満たすべき規定値

要件	周波数	人体との距離	規定値
全身平均 SAR	100kHz 以上 300GHz 以下	任意の距離	0.08W/kg
体表面への 入射電力密度	30GHz を超え 300GHz 以下		2mW/cm^2

車載レーダーに用いられる一つの半導体で発振できる電力値は最大でも 15dBm 程度であることから、空中線電力 15dBm、空中線利得 23dBi、Duty 比 50%（EIRP は 38dBm）車両 1 台につきレーダー1 台を搭載した場合を想定した電力密度の距離依存性の試算結果を図 ３－１０に示す。

この場合は、空中線からの距離が 11cm を超える場合規定値を満たしている。ミリ波レーダーでは空中線の前方にレドーム、グリルカバー、バンパーなどが設置されており、必要な距離は満足できるものと考えられる。また、現行規定においても「計測時以外においては電波の発射を停止する機能を有すること。」（無線設備規則　第四十九条の十四ハ）とされているところでもあり、基本的には影響は無いものと考えられる。

（詳細は、参考資料 3 を参照）

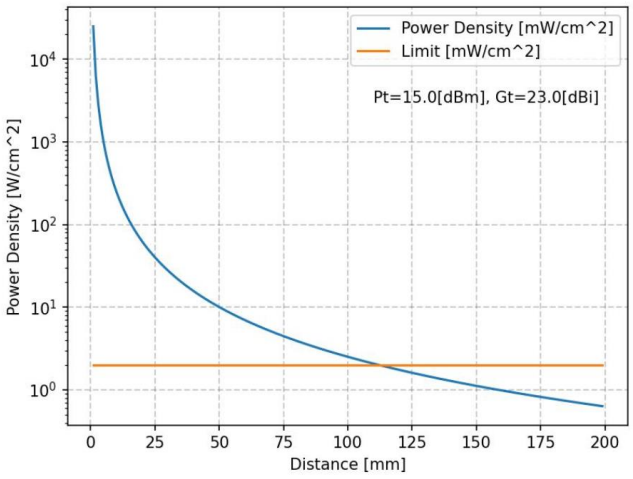


図 ３－１０ 電力密度の距離依存性（EIRP 38dBm）

３．６　検討結果

高度化レーダーについて、現行の 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの技術的条件を基に、EIRP の上限値を 50dBm と想定したうえで、電波天文業務との共用検討に際しては、より現実に即した値とするため、半導体性能による空中線電力の実力値やアンテナパターンを考慮して EIRP 30dBm を仮定し、車両 1 台につきレーダー1 台の場合を想定して検討を行った。

検討の結果、他の無線システムとの共用については、電波天文業務において高度化レーダーを搭載した新型の車両が市場に投入されても、2031 年までは影響を与える可能性は低く共用が可能であることが確認された。将来的に普及した段階において影響を与える可能性は否定できないものの、普及までは一定程度の年数がかかり、その間に影響を緩和する方策の検討や実際に影響を与える程度についての検討を進め、与干渉量が許容干渉量を超えるとされた場合は、事前に与干渉量を低減させる方策を講じることで共用は可能という結論を得た。

隣接周波数帯域の80GHz 帯高速無線伝送システムについては、帯域外領域、スプリアス領帯域での不要発射の強度は現行基準と変わらず、隣接帯域への影響も同程度と考えられるため、共用は可能という結論を得た。

また、76GHz 帯小電力ミリ波レーダー間の相互干渉、電波防護指針への準拠の点においても、実装的には問題は無いという結論を得た。

第４章　技術的条件

第３章に示す通り、等価等方輻射電力の最大値を現行 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーと同等の 50dBm と想定し、その範囲内で空中線利得と空中線電力を設定できるようにした場合において、現実に即した検討の結果、将来的に高度化レーダーの普及が進んだ場合の対策の検討を進めることを前提に、高度化レーダーと電波天文業務を含むその他の無線システムとの共用は、当面の間可能であることを確認した。

よって、76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの技術的条件として、一定の EIRP 以下であれば、既存の上限値を超えた空中線電力の設定を可能とすることが適当である。

また、EIRP の最大値としては、現行の 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーが一定以上普及していることを踏まえ、現行のものと同等の値を維持することが適当である。

加えて、76GHz 帯小電力ミリ波レーダーについては、引き続き免許不要の特定小電力無線局として取り扱うため、電波法第４条第三号に規定される「空中線電力が１ワット以下である無線局」であることは引き続き必要であることから、EIRP が上限値以下である場合においても、空中線電力の上限値は 1W 以下とすることが適当である。

以上より、76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの技術的条件は、現行の技術基準のうち、空中線電力に関する条件を下記の通り修正することが適当である。

- 0.01W 以下[1]。ただし、等価等方輻射電力が 50dBm 以下[2]となるものについては 1W 以下[3]。

[1] 平成元年郵政省告示第四十二号において現行の 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーの空中線電力として「〇・〇一ワット以下」が規定されている。

[2] 現行の 76GHz 帯小電力ミリ波レーダーでは「空中線電力 10mW 以下」（平成元年郵政省告示第四十二号：空中線電力〇・〇一ワット以下）および「空中線利得 40dBi 以下」（無線設備規則第四十九条の十四：送信空中線の絶対利得四〇デシベル以下）が規定されており、これは「等価等方輻射電力 50dBm 以下」に相当する。

[3] 電波法第四条第三号では、免許に関する例外として「空中線電力が一ワット以下である無線局のうち総務省令で定めるもの…」としている。

第５章　本検討を踏まえた今後の課題と対応

今回の検討の結果、高度化レーダーについて、本報告書の普及率の予測においては、当該レーダー搭載車の普及率が低い 2031 年までは電波天文と共用可能であり、それまでに影響を緩和する方策の検討や実際に影響を与える程度についての検討を進め、与干渉量が許容干渉量を超えるとされた場合は、事前に与干渉量を低減させる方策を講じることで引き続き共用が可能という結論に達した。

今後の課題として、高度化レーダー搭載車の普及状況を把握し、与干渉量が許容干渉量を超える前に十分な余裕をもって、普及期における共用に向けた方策について検討する必要がある。

具体的には、国立天文台野辺山天文台を対象に以下の対応が必要である。

- 2026 年度から、今回検討に参加した与干渉側及び被干渉側の担当者から構成される検討組織を設立し、以下について実施する。
  - ①　高度化レーダー搭載車の普及率及び半導体の技術進歩について、継続的に関連情報を収集し、状況を把握する。
  - ②　本検討におけるシミュレーションでは、電波伝搬減衰や受信側のパラメータは ITU-R 等において定められた基準値や計算式を用いて与干渉量の算出を行ったところであるが、これらの基準値や計算式は、計算のしやすさを考慮したものであることから、地表面に近い位置からのレーダー波による電波天文の観測設備への実際の影響及び周辺地域の実環境・将来環境を想定した検証等を含めた技術的な検討を行う。
  - ③　①②を踏まえた適切なスケジュールや進め方により、共用に向けた対策の必要性及びその具体的な内容と効果についての検討を行う。
- 上記①②③の結果、対策が必要と判断された場合であって、当該対策を具体的に実施・適用していくために地域の公的機関を含む多様な関係者との合意形成等が必要となる場合においては、必要に応じ総務省も関与の上、関係者による新たな調整の場を設定することも検討が必要である。

また、他の電波天文業務の実施箇所に関しては、自動運転及び先進運転支援システム（ADAS）の開発・普及状況並びに当該地域における電波天文業務の準備状況及び社会環境を踏まえ、上記検討で用いた計算方法等を利用した上で、与干渉量等について今後検討を行う必要がある。

別表１

情報通信審議会　情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会　構成員

（敬称略、順不同）

氏名		主要現職
主査 専門委員	三次 仁	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
主査 委員	安藤 真	東京工業大学　名誉教授 （令和３年 12 月）
委員	高田 潤一	東京科学大学 執行役副学長（国際担当）／環境・社会理工学院 教授 （令和８年２月）
〃	藤井 威生	電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター 教授 （令和８年２月）
〃	森川 博之	東京大学　大学院　工学系研究科　教授 （令和３年 12 月）
専門委員	飯塚 留美	一般財団法人マルチメディア振興センター 調査研究部 研究主幹
〃	井家上 哲史	明治大学 理工学部 教授 （令和８年２月）
〃	伊藤 数子	特定非営利活動法人 STAND 代表理事
〃	今村 浩一郎	日本放送協会 放送技術研究所 伝送システム研究部 研究主幹 （令和８年２月）
〃	土田 健一	日本放送協会　放送技術研究所　伝送システム研究部　部長 （令和３年 12 月）
〃	太田 香	東北大学 大学院 情報科学研究科 教授 （令和８年２月）
〃	加藤 康博	NTT 株式会社 技術企画部門 電波室長 （令和８年２月）
〃	齋藤 一賢	日本電信電話株式会社　技術企画部門　電波室長 （令和３年 12 月）
〃	岡野 直樹	一般社団法人電波産業会 専務理事 （令和８年２月）
〃	児玉 俊介	一般社団法人電波産業会　専務理事 （令和３年 12 月）
〃	杉浦 誠	一般社団法人全国陸上無線協会 専務理事 （令和８年２月）
〃	田中 秀一	一般社団法人全国陸上無線協会　専務理事 （令和３年 12 月）
〃	杉本 千佳	横浜国立大学大学院工学研究院 知的構造の創生部門 准教授 （令和８年２月）
〃	田丸 健三郎	日本マイクロソフト株式会社 技術統括室 業務執行役員 ナショナルテクノロジーオフィサー
〃	豊嶋 守生	国立研究開発法人情報通信研究機構 ネットワーク研究所ワイヤレスネットワーク研究センター 研究センター長

氏名	主要現職
〃　森田 久美子	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会委員 （令和 8 年 2 月）
〃　藤野 義之	東洋大学　理工学部 電気電子情報工学科 教授
〃　松尾 綾子	株式会社東芝 防衛・電波システム事業部 小向工場 フェロー （令和 8 年 2 月）
〃　森田 耕司	一般社団法人日本アマチュア無線連盟 会長 （令和 8 年 2 月）
〃　日野岳 充	一般社団法人日本アマチュア無線連盟　専務理事 （令和 8 年 2 月）
〃　吉田 貴容美	日本無線株式会社 ソリューション事業部 マイクロ波通信技術部 衛星移動通信システムグループ 課長
〃　秋山 裕子	富士通株式会社　モバイルシステム事業本部　モバイルＰＦ開発統括部長 （令和 3 年 12 月）
〃　河野 隆二	横浜国立大学　名誉教授 （令和 3 年 12 月）
〃　本多 美雄	欧州ビジネス協会　電気通信機器委員会 委員長 （令和 3 年 12 月）
〃　三谷 政昭	東京電機大学　工学部　情報通信工学科　教授 （令和 3 年 12 月）

別表２

情報通信審議会　情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会

76GHz 帯小電力ミリ波レーダー高度化作業班　構成員

（敬称略、順不同）

氏名		主要現職
主任	豊嶋 守生	（国研）情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク研究センター長
主任代理	高田 潤一	東京科学大学　執行役副学長
構成員	青柳 靖	古河 AS（株）第３技術本部
〃	大橋 洋二	1Finity（株） モバイルシステム事業本部 技術企画統括部 （令和８年１月より）
〃	小竹 信幸	（一財）テレコムエンジニアリングセンター 技術部 技術部長
〃	小花 貞夫	電気通信大学　学長特別補佐 （令和８年１月より）
〃	金子 明	（一社）日本アマチュア無線連盟 電磁環境委員会 委員
〃	河合 茂樹	（株）デンソー 技術開発推進部 国際標準渉外室 （令和８年１月より）
〃	青木 豊	（株）デンソー 技術開発推進部 技術渉外総括室 特定プロジェクト渉外課長 （令和４年４月まで）
〃	大橋 洋二	富士通（株） モバイルシステム事業本部 ワイヤレスシステム事業部 （令和４年４月まで）
〃	吉富 貞幸	キオクシア（株） （令和４年４月まで）
〃	池間 賢吾	ボッシュ(株) Cross-Domain Computing Solutions, Engineering Driving Systems Customer Projects 4 Group (XC-DA/EDC4-JP) （令和４年４月まで）
〃	橋本 直樹	コンティネンタルオートモーティブ（株） ＡＤＡＳ （令和４年４月まで）
〃	高橋 和晃	ＩＴＳ情報通信システム推進会議 ミリ波システム専門委員会 専門委員長
〃	高橋 政則	NEC プラットフォームズ（株） （令和８年１月より）
〃	市川 正樹	日本電気（株） 第一ワイヤレスアクセスソリューション事業部 （令和４年４月まで）
〃	今井 克之	住友電気工業（株） 情報ネットワーク研究開発センター 無線システム研究部 （令和８年４月より）
〃	山田 雅也	住友電気工業（株） 情報ネットワーク研究開発センター 無線システム研究部 （令和８年１月まで）

氏名	主要現職
〃　中澤 進	NHK 放送技術研究所　主任研究員 （令和８年１月より）
〃　橋本 昌史	（国研）宇宙航空研究開発機構 周波数管理室長 （令和８年１月より）
〃　平野 健太	日本自動車輸入組合 / ビー・エム・ダブリュー（株） デベロップメント・ジャパン プロダクト・デベロップメント マネジャー （令和８年１月より）
〃　太田 貴志	メルセデス・ベンツ日本（株） Mercedes-Benz Research & Development Japan RD C/TI （令和４年４月まで）
〃　平松 正顕	国立天文台 周波数資源保護室長 （令和８年１月より）
〃　大石 雅寿	国立天文台 周波数資源保護室長 （令和４年４月まで）
〃　藤田 雄也	本田技研工業（株） 四輪事業本部 四輪事業本部 ＳＤＶ事業開発統括部 先進安全･知能化ソリューション開発部 先進安全コンポーネント開発課 アシスタントチーフエンジニア （令和８年１月より）
〃　新行内 誠仁	本田技研工業（株） 四輪事業本部 ものづくりセンター 電子制御 開発統括部 電子制御開発企画管理部 エキスパートエンジニア （令和４年４月まで）
〃　藤本 浩	日産自動車（株） 電子技術・システム技術開発本部 AD/ADAS 先行技術開発部 戦略企画グループ
〃　谷田部 智之	（株）三菱総合研究所 モビリティ・通信政策本部 主席研究員 （令和８年１月より）
〃　山本 信	トヨタ自動車（株） デジタル情報通信本部 情報通信企画部 ITS 推進室長 （令和８年１月より）
〃　竹内 宏次	トヨタ自動車（株） 4SJ3G （令和４年４月まで）
〃　渡部 聡彦	（一社）電波産業会 研究開発本部ＩＴＳグループ
〃　高田 仁	（一社）日本民間放送連盟 企画部 主幹 （令和４年４月まで）
〃　渡辺 知尚	（国研）宇宙航空研究開発機構 周波数管理室長 （令和４年４月まで）

【参考資料】

1. 電波天文業務との共用検討

（ア）電波天文業務の受信設備

①受信アンテナ利得に関する考察

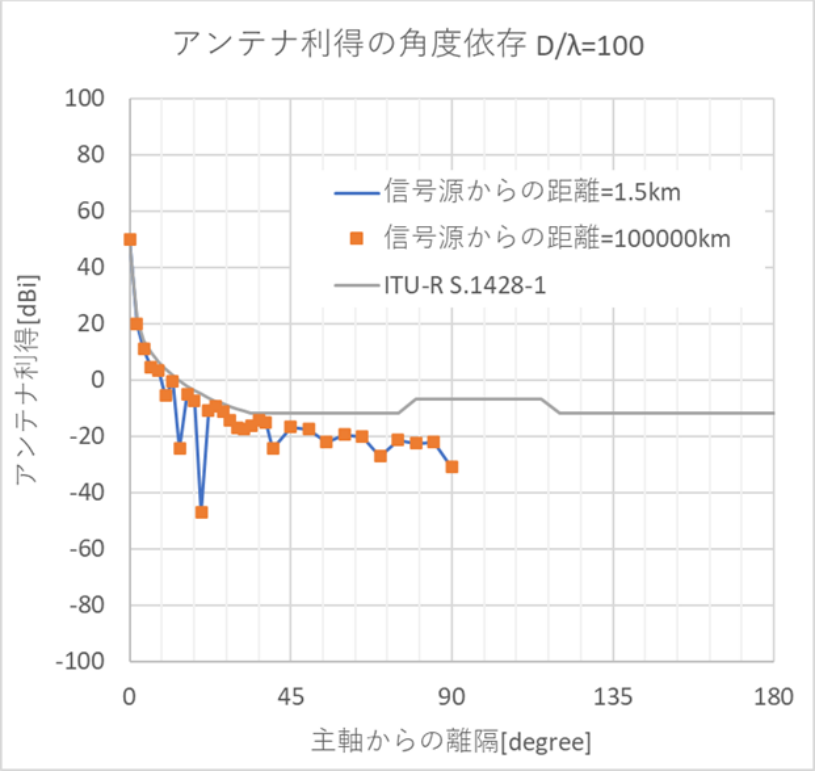
今回の検討では ITU-R 勧告 RA.769-2 において一般的な干渉基準（“the general interference criteria”）とされている 0dBi を適用したが、大口径パラボラアンテナにおける正面から大きく離れた方向のアンテナ利得について実測値は存在していない。そこで、正面から離れた角度より入射したケースを考慮したアンテナ利得への影響について理論上での考察を行った。

ITU-R 勧告 RA.769-2 では、受信設備のパラボラアンテナの利得を考える際に、ITU-R 勧告 S.1428-1 を参照している。ITU-R 勧告 S.1428-1 では、アンテナの直径Dと波長λの関係D/λでレンジを区切り、式を定義しているが、レンジはD/λが 20、25、100 で切り替わるところ、野辺山天文台のパラボラアンテナ（D=45m）で 76.5GHz（λ=3.9mm）を測定する場合には、D/λ =11,482 と 2 桁以上異なっている。

これを踏まえ、アンテナの利得をホイヘンス＝フレネルの原理に基づいて、パラボラアンテナの焦点から発射された電界が、距離R、角度θの点に届く複素電界としての強度、位相を合成して計算し、ITU-R 勧告 S.1428-1 の式と乖離がないかを確認した。

参考図 1 に示すように、D/λ =100 の場合、1.5km でも無限遠でも同じ結果が得られている。正面の利得は理論値である$(\pi D/\lambda)2$=50dBi と一致しており、ITU-R 勧告 S.1428-1 からはθ<40° で数 dB、60° 付近では 8dB 程度の誤差となった。

その一方において、実際の 45m 大口径望遠鏡は理論的なパラボラ面にはなっていないと考えられ、ITU-R 勧告 RA.769-2（ITU-R 勧告 S.1428-1）にて参照しているアンテナと実際の利得は異なることが予想される。また、野辺山における受信設備の利得に関する実測値も得られていないため、今後の課題として、本考察における試算結果については議論の余地があると考えられる。



参考図 1 アンテナ利得の角度依存 D/λ=100【参考値】

②許容干渉電力

１）電波天文業務の保護基準は、以下の 2 つの ITU 勧告により与えられている。

参考表 1　電波天文業務の保護基準に関する ITU 勧告

勧告	記載内容
ITU-R 勧告 RA.769	・ 干渉閾値を定義 ・ ゲイン 0dBi ← 望遠鏡は様々な方向を向くので平均値 ・ 連続波モード（Table 1）、スペクトル線モード（Table 2）、VLBI モード（Table 3） ・ 多くの場合、表 1 の値に基づき、参照帯域幅の補正をして用いる
ITU-R 勧告 RA.1513	・ 干渉時間率に相当する「データ損」率を定義 ・ 2000 秒の積分時間の間に生じる干渉電力が RA.769 の値を超過する割合として 2%（全てのシステムからの合算では 5%）を許容

２）干渉しきい値の算出

ITU-R 勧告 RA.769 の Table 1 の 89GHz の値から干渉しきい値として-189.39dBW が算出される。

• Recommendation ITU-R RA.769 • ノイズの電力スペクトル密度 $\Delta P = k\Delta T$ (W/Hz) (1), kはボルツマン定数 • $\Delta T = \frac{T}{\sqrt{\Delta f \cdot t}}$, $T = T_A + T_R$ (2) T_A:宇宙背景放射、大気、地面によるアンテナ温度、T_R:受信機雑音温度、Δf:バンド幅、t:積分時間(2000秒) • 干渉電力の閾値 $\Delta P_H = 0.1 \cdot \Delta P \cdot \Delta f$ (3) 受信システムの性能と自然環境条件によって決まる	• 3-4mm帯の受信機性能はほぼフラット、また、大気による放射などもほぼ変わらない（但し、69GHz未満では酸素、115GHz以上ではオゾンのために大気による放射が上昇する） → Table 1の89GHzの値を用いれば良い • $\Delta T = \frac{T}{\sqrt{\Delta f \cdot t}} = \frac{(12+30)}{\sqrt{8000\times10^6\times2000}} = 1.05\times10^{-5}$ $= 1.05\times10^{-2}$ (mK) $\Delta P = 1.05\times10^{-5}\times1.3806\times10^{-23} = 1.45\times10^{-28}$ (W/Hz) → -278.39 dB(W/Hz) $\Delta P_H = 0.1 \cdot \Delta P \cdot \Delta f = 0.1\times1.45\times10^{-28}\times(8000\times10^6) = 1.16\times10^{-19}$ (W) → -189.39 dBW

出所：第 5 回作業班資料 5-3[1]

[1] https://www.soumu.go.jp/main_content/000852233.pdf

Continuum observations = wideband observations

TABLE 1

Threshold levels of interference detrimental to radio astronomy continuum observations

Centre frequency [1] f_c (MHz)	Assumed bandwidth Δf (MHz)	Minimum antenna noise temperature T_A (K)	Receiver noise temperature T_R (K)	System sensitivity [2] (noise fluctuations)		Threshold interference levels [2] [3]		
				Temperature ΔT (mK)	Power spectral density ΔP (dB(W/Hz))	Input power ΔP_H (dBW)	pfd $S_H \Delta f$ (dB(W/m^2))	Spectral pfd S_H (dB(W/(m^2 · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
13.385	0.05	50 000	60	5 000	−222	−185	−201	−248
25.610	0.12	15 000	60	972	−229	−188	−199	−249
73.8	1.6	750	60	14.3	−247	−195	−196	−258
151.525	2.95	150	60	2.73	−254	−199	−194	−259
325.3	6.6	40	60	0.87	−259	−201	−189	−258
408.05	3.9	25	60	0.96	−259	−203	−189	−255
611	6.0	20	60	0.73	−260	−202	−185	−253
1 413.5	27	12	10	0.095	−269	−205	−180	−255
1 665	10	12	10	0.16	−267	−207	−181	−251
2 695	10	12	10	0.16	−267	−207	−177	−247
4 995	10	12	10	0.16	−267	−207	−171	−241
10 650	100	12	10	0.049	−272	−202	−160	−240
15 375	50	15	15	0.095	−269	−202	−156	−233
22 355	290	35	30	0.085	−269	−195	−146	−231
23 800	400	15	30	0.050	−271	−195	−147	−233
31 550	500	18	65	0.083	−269	−192	−141	−228
43 000	1 000	25	65	0.064	−271	−191	−137	−227
89 000	8 000	12	30	0.011	−278	−189	−129	−228
150 000	8 000	14	30	0.011	−278	−189	−124	−223
224 000	8 000	20	43	0.016	−277	−188	−119	−218
270 000	8 000	25	50	0.019	−276	−187	−117	−216

(1) Calculation of interference levels is based on the centre frequency shown in this column although not all regions have the same allocations.

(2) An integration time of 2 000 s has been assumed; if integration times of 15 min, 1 h, 2 h, 5 h or 10 h are used, the relevant values in the Table should be adjusted by +1.7, −1.3, −2.8, −4.8 or −6.3 dB respectively.

(3) The interference levels given are those which apply for measurements of the total power received by a single antenna. Less stringent levels may be appropriate for other types of measurements, as discussed in § 2.2. For transmitters in the GSO, it is desirable that the levels be adjusted by −15 dB, as explained in § 2.1.

出所：ITU-R Recommendation RA.769-2[2]

これを 1MHz あたりに変換すると、-198.4dBm/MHz が算出される。

- 1MHzあたり、mW表示に変換
- ΔP_H ＝-189.39 dBW/8000MHzであるから、WをmW表示にするために30を加え、10log(8000)=39.03を引く
  → ΔP_H ＝-189.39 + 30 − 39.03
  = -198.36 dBm/MHz

  これを小数第2位で四捨五入すれば
  -198.4 dBm/MHz
- 以下の干渉検討では、-198.4dBm/MHzを用いる

出所：第 5 回作業班資料 5-3[3]

上記は帯域幅を 8,000MHz としているが、今回の検討の対象となる高度化レーダーの帯域幅 1GHz で計算すると、-189.39dBm/MHz となり、これを小数第 2 位で四捨五入すれば-189.4dBm/MHz となる。

$$-189.39 + 30 - 10\log_{10}(1000)$$
$$= -159.39 - 10\log_{10}(1000)$$
$$= -159.39 - 30$$
$$= -189.39\ dBm/MHz$$

[2] https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/ra/R-REC-RA.769-2-200305-I!!PDF-E.pdf
[3] https://www.soumu.go.jp/main_content/000852233.pdf

なお、ECC Report 350（CEPT）では-189dBm/MHz が提案されている。

4.1.2 RAS protection criterion In Recommendation ITU-R RA.769-2 the protection criterion for continuum observations in the relevant frequency range provides a value of -228dB (W/m²/Hz), which was also used in existing studies. However, for this Report a power spectral density (PSD) limit is proposed to be calculated from the interference input power limit of -189dBW which is also given in RA.769-2. This results for a 4GHz Radar system in -195dBm/MHz, for a 2GHz Radar system in -192dBm/MHz and for a 1GHz radar system in -189dBm/MHz.

出所：CEPT、ECC Reoprt 350 Radiodetermination equipment for ground based vehicular applications in 77-81 GHz (approved 3 February 2023)[4]

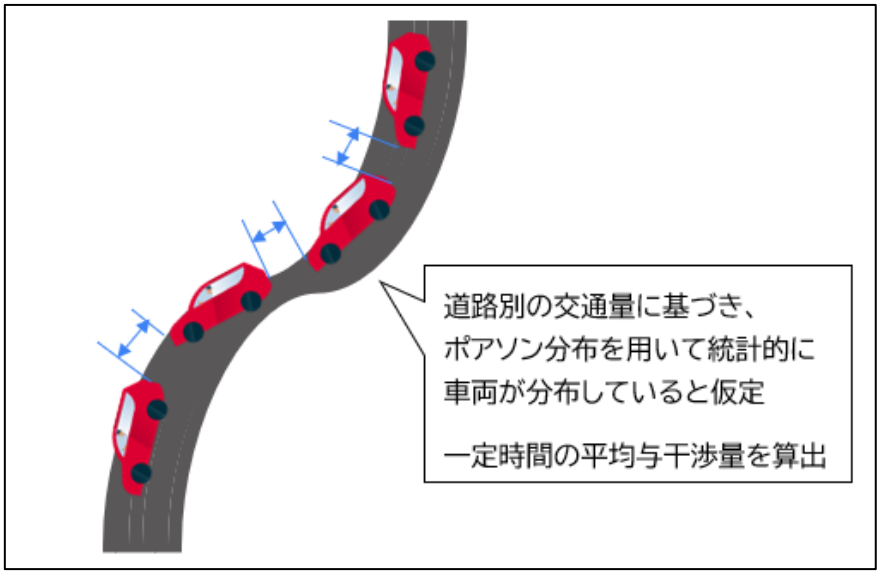
[4] https://docdb.cept.org/download/4286

（イ）交通量モデルに基づく算出方法

①概要

受信設備への影響が大きいと考えられる周辺の道路（交通量が多く見通しのある道路）上の車両からの与干渉量を算出した。

- 公表されている交通センサスや現地調査による各道路の交通量に基づき、車両を確率的に道路上に配置し、高度化レーダーの普及率を反映
- 50 ミリ秒ごとの車両の位置と向きを考慮
- 各車両のレーダーから受信設備の射線上の植生、地形による回折を考慮し、車両ごとの与干渉量を算出
- 受信設備からの距離ごとに与干渉量を積み上げて算出



参考図 2 交通量モデルに基づく算出方法の概念図

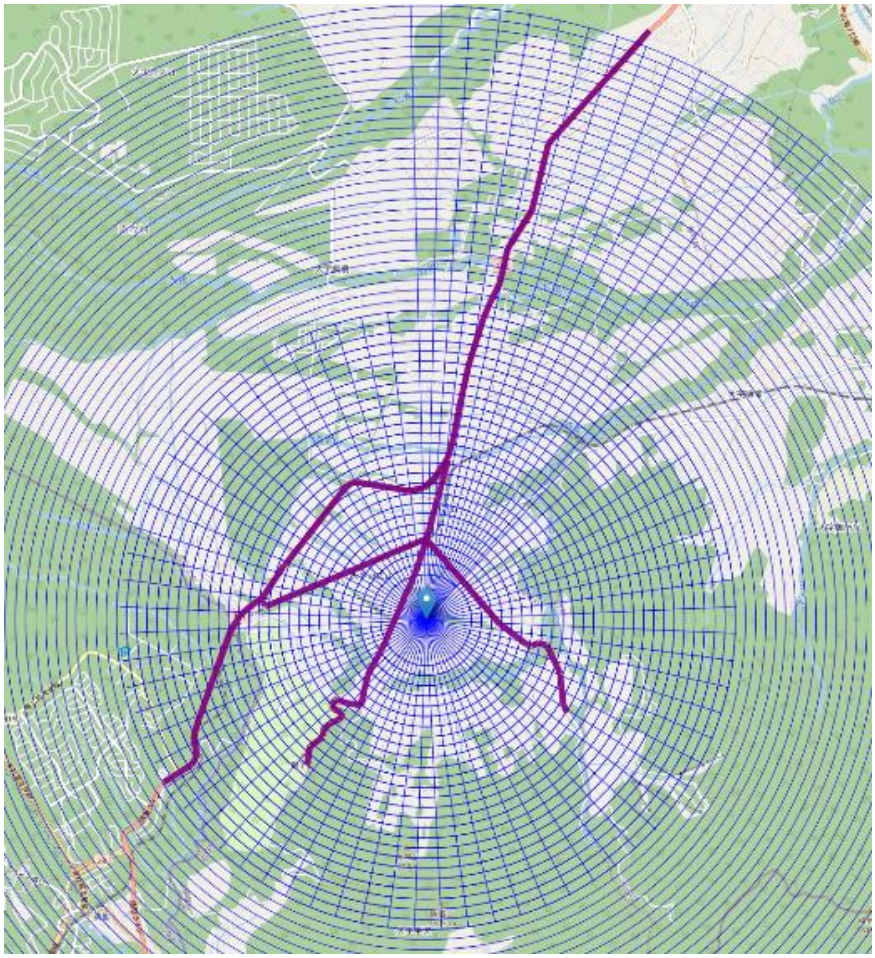
②算出対象

交通量モデルに基づく算出方法では、受信設備近傍において、以下の受信設備への見通しが取れる主要道路を対象として算出を行った。具体的には受信設備周辺の以下の 4 つの道路を主要道路と定義した。

- 国道 141 号線
- 野辺山平沢線
- 村道 5031 号線
- 丸山三沢線

参考図 3 に受信設備近傍の見通しが取れる当該主要道路（図中では紫にて表示）を示

す。



参考図 3 受信設備近傍の見通しが取れる当該主要道路

出所：© OpenStreetMap contributors による地図に加筆

③交通量の算出

主要 4 道路における統計情報（一般交通量調査結果）および実測結果に基づく交通量の算出方法を以下に示す。

交通量に係る統計情報は下表に示す通りであり、国道 141 号線の交通量情報のみが公表されている。そのため現地における実測交通量に基づき、当該 4 道路の休日および平日の交通量を推定し解析に用いた。

参考表 2　統計情報(一般交通量調査結果)に基づく休日の交通量

対象となる道路	休日の昼間 12 時間交通量 (7:00～19:00)[台]	休日の 24 時間交通量 (午前 0:00～翌午前 0:00) [台]	昼夜率 (=24 時間交通量/昼間 12 時間交通量)
国道 141 号線	8,639	10,234	1.1846
野辺山平沢線	統計情報なし	統計情報なし	統計情報なし
丸山三沢線	統計情報なし	統計情報なし	統計情報なし
村道 5031 号線	統計情報なし	統計情報なし	統計情報なし

出所) 一般交通量調査結果 (交通量観測日 2015/10/18) [5]、山梨県

ここで国道 141 号線における昼夜率(=24 時間交通量/昼間 12 時間交通量)は 1.1846 となる。

当該 4 道路に関して、計測した交通量と計測時の測定条件を、参考表 3 および参考表 4 に示す。

参考表 3　主要 4 道路の実測交通量

対象となる道路	平日の実測交通量(9h) (8:00～17:00) [台]
国道 141 号線	1,160
野辺山平沢線	83
丸山三沢線	14
村道 5031 号線	150

参考表 4　測定条件

測定条件	
実施日	2021 年 1 月 27 日 (水)
測定時刻	8 時～17 時まで(9 時間)
天候条件	曇り(濃霧) →小雨→晴れ

参考表 5 に示す(1)実測交通量は平日 9 時間(8 時から 17 時)における交通量であるため、1 時間あたりの昼間交通量から換算した(2)平日の昼間 12 時間の交通量の推定値を算出した。

また、前述の国道 141 号線における昼夜率(=1.1846)に基づき(3)平日の 24 時間交通量の推定値を算出した。

[5] https://www.pref.yamanashi.jp/documents/83111/h27koutuuryouchousakekka.pdf

参考表 5　実測交通量から換算した平日の交通量の推定値

対象となる道路	(1) 平日の実測交通量(9h) (8:00-17:00) [台]	(2) 平日の昼間 12 時間交通量の推定値 [台]	(3) 平日の 24 時間交通量の推定値 [台]※
国道 141 号線	1,160	1,547	1,832
野辺山平沢線	83	111	131
丸山三沢線	14	19	22
村道 5031 号線	150	200	237

※統計情報(一般交通量調査結果) に基づく昼夜率 1.1846 を使用して推定

以上の算出結果より国道 141 号線の休日の 24 時間交通量と平日の 24 時間交通量の比（休日／平日の交通量比）は以下と想定される。

（休日／平日の交通量比）5.5856
＝ （休日の 24 時間交通量）10,234 台 ／（平日の 24 時間交通量）1,832 台

また、(a) 前述の平日の交通量の推定値（昼間 12 時間・24 時間）と（休日／平日の交通量比）に基づき、(b)休日の交通量（昼間 12 時間・24 時間）を推定した結果は参考表 6 に示すとおりである。

参考表 6　平日・休日の交通量の推定値まとめ

対象となる道路	(a) 平日		(b) 休日	
	昼間 12 時間交通量[台]	24 時間交通量[台]	昼間 12 時間交通量[台]	24 時間交通量[台]
国道 141 号線	1,547	1,832	※8,639	※10,234
野辺山平沢線	111	131	618	732
丸山三沢線	19	22	104	124
村道 5031 号線	200	237	1,117	1,323

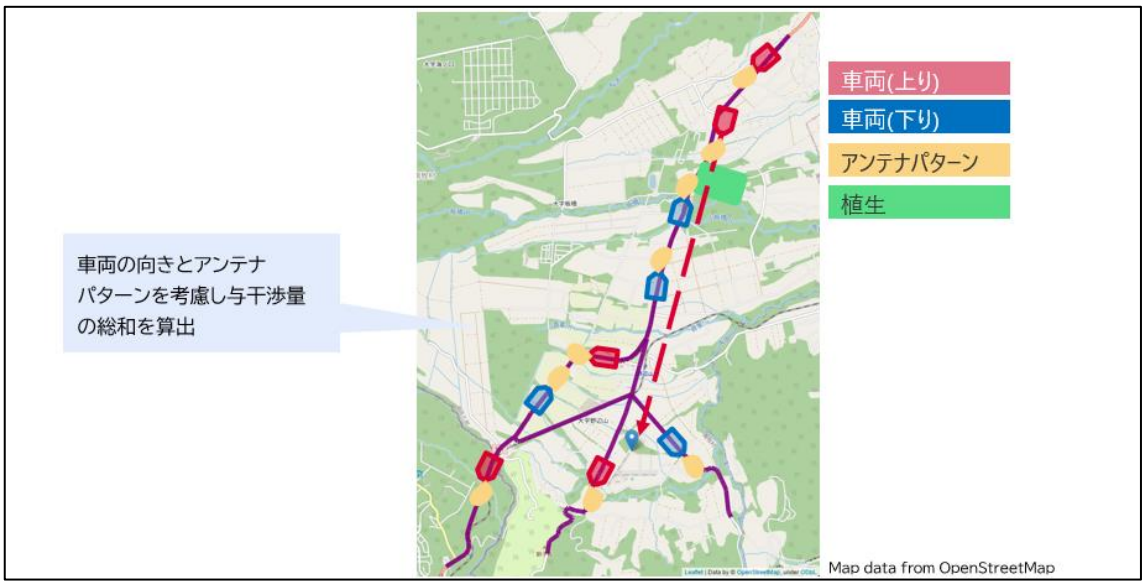
※統計情報（一般交通量調査結果）により公表された交通量

本検討では休日の昼間 12 時間交通量に基づき与干渉量の算出を行う。

④車両の位置と向きの考え方

交通量モデルでは、道路上における車両の進行方向を考慮した与干渉量の算出を行う。車両の位置と向きの考え方を以下に示す。参考図 4 において、図中の台形のシンボルは車両と車両の向き（五角形の山型方向が車両正面）を表しており、道路上における車

両の進行方向に応じてそれぞれのシンボルの色を表している。(上り:赤色・下り:青色)



参考図 4 車両台数と位置の考え方（交通量モデル）

出所：© OpenStreetMap contributors による地図に加筆

⑤車両分布に基づく与干渉量の算出

前述の交通流量に基づき車両の分布を考慮した与干渉量の算出を行う。

具体的な算出方法としては各道路における交通量を統計情報および実測結果に基づき算出し、車両を統計的に配置する。配置方法として車両の分布はポアソン分布に基づくと仮定し、交通流量に基づき配置を行う。また各車両の配置については 50 ミリ秒ごとに車両の位置と向きを考慮して算出を行う。

ポアソン分布に基づきx台のレーダー搭載車両が通過する確率は以下の式にて表すことができる。

$$\mathrm{P}(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$$

ここで λ :単位時間あたりの平均通過車両台数である。

この場合、時間 τ における車両通過確率の累積分布関数 yは指数分布に基づくと考えられ以下の式で表される。

$$y = 1 - e^{-\lambda\tau}$$

ここで

$$\tau = -\frac{1}{\lambda}\ln(1-y)$$

ただし、yは確率密度関数であるため以下となる。

$$y \in U[0,1)$$

ここで τ は車両間隔を、y は車両通過確率の累積分布関数を表しているが、実際の車両は走行中、安全のため一定の車間距離を取るものと考えられる。そのため、本検討においては最低限の車間距離として 51.1m を取るものと想定として車両間隔の分布を補正した。

上記の車両間隔 τ を用いてある時間(t)の断面における車両分布を算出し、当該車両分布における電界強度を算出する。[時間(t)における電界強度を$RadarPower(t)$と定義]

当該電界強度を複素振幅として積分時間$(T:$ 2,000 秒$)$において積分し、時間平均を取った場合の電界強度（与干渉量）は以下の式で表される。

$$P_{avg}(R) = \frac{1}{T}\int_0^T \left| \sum_{i\in\{L_i>R\}} RadarPower_i(t) \right|^2 dt$$

（※中心点からの距離Lに対し、交通量モデルによる算出において取りうる距離Rにおいて積算）

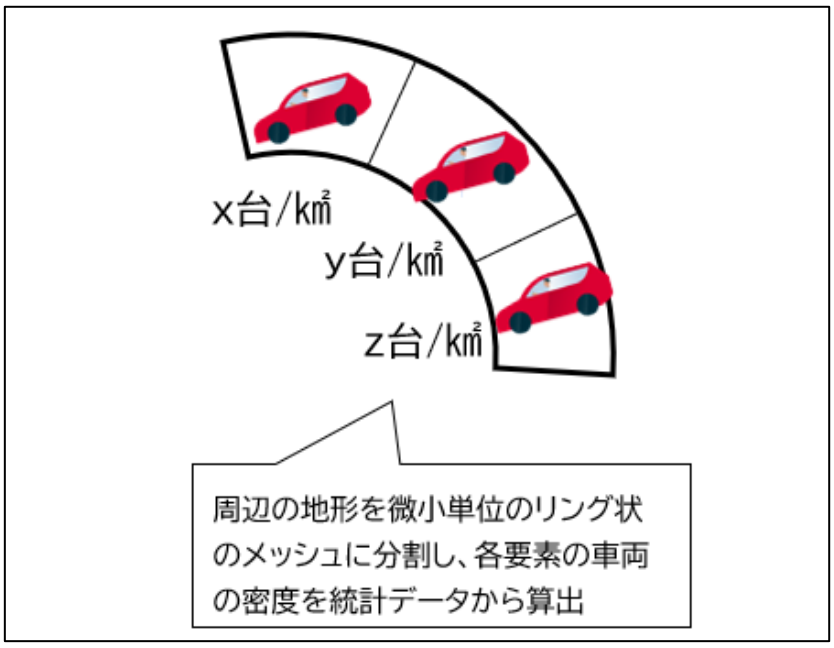
（ウ）車両密度モデルに基づく算出方法

①概要

交通量が多くないまたは受信設備から一定の距離以上離れた道路上の車両からの与干渉量に関しては、各自治体の車両保有台数の統計値に基づき与干渉量を下記の手順に従って算出した。

- 受信設備を中心とした半径 100km 以内の地形を微小単位のリング状のメッシュに分割
- 各メッシュについて道路が存在するメッシュと存在しないメッシュに分け、存在するメッシュを有効メッシュとする
- 各自治体の車両保有台数と面積から、有効メッシュ内の車両保有台数を算出し、高度化レーダーの普及率を反映
- 車両の走行時間をもとに車両の稼働率を算出し、有効メッシュ内の（動いている）車両台数を算出
- メッシュごとに植生と、受信設備までの地形による遮蔽と回折を三次元で考慮

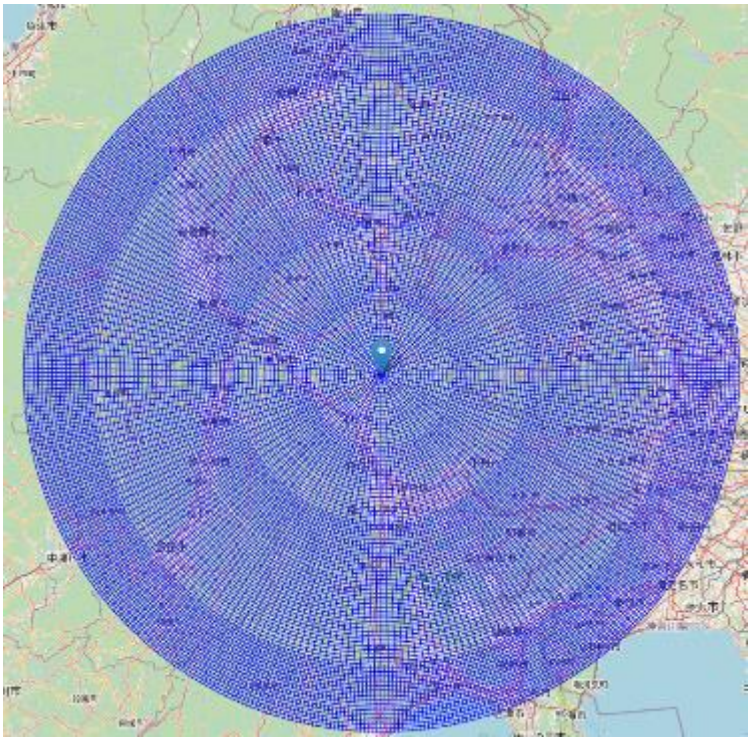
し、与干渉量を算出



参考図 5 車両密度モデルに基づく算出方法の概念図

②メッシュの分割方法

具体的な解析メッシュへの分割イメージを示した図を以下に示す。メッシュは参考図 6 に示すように受信設備を中心とする同心円状に分割し、距離方向の分割長さを 1000m とする。角度方向の分割角度を一定とすると、受信設備からの距離が離れるごとに、メッシュの円周方向の距離が長くなる傾向があるため、角度方向の分割角度を小さくしメッシュの分解能を高める方針とする。



参考図 6 メッシュ分割方法（リング状メッシュ）

出所：© OpenStreetMap contributors による地図に加筆

具体的なメッシュの分解方法を参考表 7 に示す。

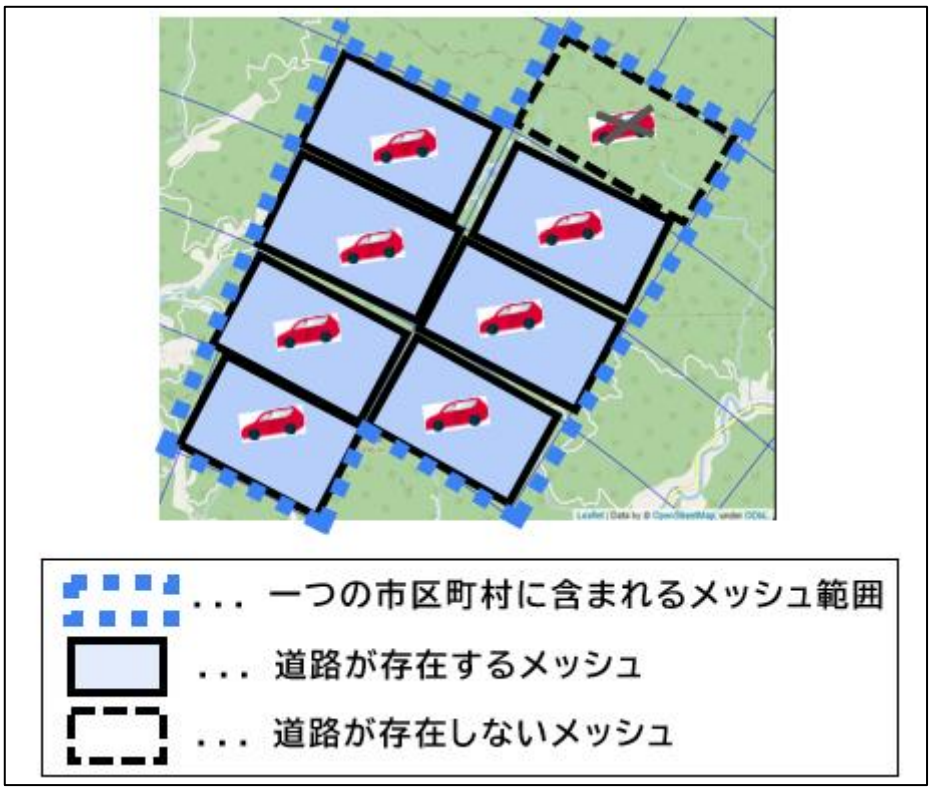
メッシュの分割において、距離方向の分割長さを 1000m とし、メッシュの分解能を高めるために、中心からの距離が大きくなるごとに、角度の分解能を高め、円周部の長さを 2,000m 以下に抑えるものとする。

参考表 7 メッシュの分解能

中心からの距離 x	距離分解能	角度分解能	円周部の長さ
<5km	1,000m	16 分割=22.5 度	2,000m 以下
5≦x<10km	1,000m	32 分割=11.25 度	
10≦x<20km	1,000m	64 分割=5.6 度	
20≦x<41km	1,000m	128 分割=2.8 度	
41≦x<81km	1,000m	256 分割=1.4 度	
81km 超	1,000m	512 分割=0.7 度	

③対象とするメッシュ

参考図 7 に算出における概念図を示す。道路が存在しないメッシュはレーダーが存在しないものとして解析の対象外とし、道路が存在するメッシュを解析における有効メッシュとする。



参考図 7 車両台数の考え方（車両密度モデル）

出所：© OpenStreetMap contributors による地図に加筆

④メッシュにおけるレーダー数の算出

また、メッシュが存在する各市区町村の車両登録台数に基づき、有効メッシュ内の車両保有台数を試算し、車両の単位面積あたりの存在密度を求め、当該密度を基に各メッシュの車両数を算出する。

メッシュにおける車両数は以下に基づき算出を行った。

メッシュ内の車両数 ＝ メッシュの面積×車両台数密度×稼働率×普及率

ここで、上記計算式における各項は以下の想定により算出した。

参考表 8 各項目の算出方法

項目	算出方法
メッシュ面積	各メッシュの面積
車両台数密度	メッシュが属する各市区町村の車両保有台数に基づいて算出した単位面積あたりの車両密度
稼働率	車両保有台数のうち稼働している車両の割合（稼働率）を算出

	（昼間 12 時間の稼働率を想定）
普及率	高度化レーダーの市場投入後の普及率として 2037 年までの普及率を仮定し算出（後項(エ)普及率についてを参照）

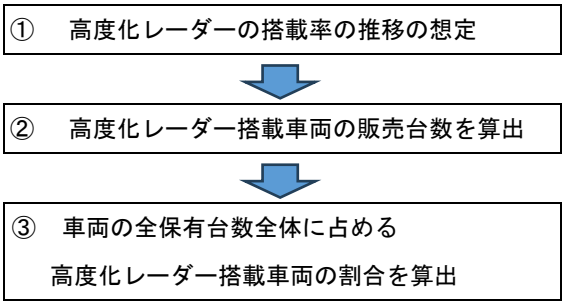
メッシュ内の高度化レーダー数は下記の計算式により算出を行った。

メッシュ内の高度化レーダー数 ＝ メッシュ内の車両数×１車両当たりのレーダー数

なお、算出においては、車両の向きは統計的に一様な確率分布を示しランダムな方向を向いているものと仮定し、指向性を考慮しない。

(エ)普及率について

普及率の算出においては、以下の普及率の算出ステップに示すように、最初のステップ①として、まず新規販売車両への高度化レーダー搭載率を予測し、次ステップ②にて高度化レーダー搭載車両の新規販売台数を求める。最後のステップ③として車両の保有台数全体に占める高度化レーダー搭載車両の割合を算出する手順を取った。



参考図 8 普及率の算出ステップ

①高度化レーダーの搭載率

各年に販売される新車にどの程度の割合で高度化レーダーが搭載されるかの推移を想定した。(参考表 9［青枠の括弧内］)

想定にあたっては、車両を自動車種別ごと（軽自動車、小型自動車、普通自動車）に分類し、普通自動車をさらに 3 つのカテゴリに分類することで、合計 5 種類のグレード（①～⑤）に分類。各グレードにおける高度化レーダーの搭載率を予測した。

グレード別の普及の進み方については以下を想定した

- 上位グレードの輸入車（表中⑤）については、欧米等で類似仕様のレーダーが既に搭載されていることも多いことから、制度化の後に必要な評価・改良を行いマイナーチェンジに合わせて早期に市場に投入
- 普通車上位グレード車（表中④）については、制度化後に次期モデルとして

開発が開始される車両に搭載され、各車のフルモデルチェンジに合わせて順次市場に投入

- 普通車上位グレードの普及が進む中で下位グレード（表中③）についても各車のフルモデルチェンジに合わせて市場に投入
- その後、小型自動車（表中②）、軽自動車（表中①）の新型車両にも搭載されて市場に投入

② 高度化レーダー搭載車の販売台数

各年に販売される高度化レーダーが搭載された車両数を算出した。（参考表 9［青枠］）

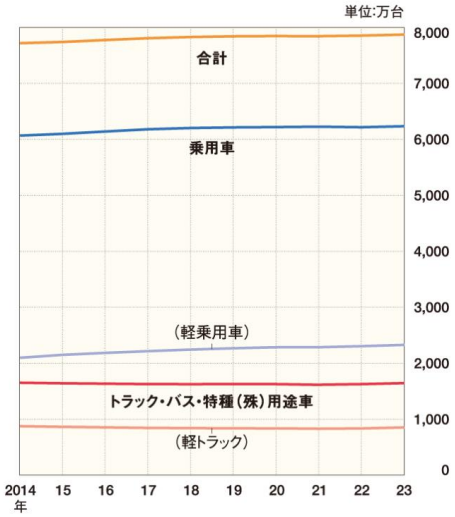
算出にあたっては、年間の新車の販売台数は将来的にも 2024 年と同様であり、販売される台数のグレード別の構成も同様と想定した。

車両売台数は、地域性を加味するため、長野県、山梨県における実績値を利用し、各年の販売台数に①の搭載率を乗じることで毎年投入される販売台数を算出した。

③ 高度化レーダー搭載車両の割合

車両の全保有台数全体に占める高度化レーダー搭載車両の割合を普及率として算出した。（参考表 9［赤枠］）

自動車（四輪車）の日本における保有台数の実績は、参考図 9 に示す通り 2014 年以降微増しているものの、伸び率は徐々に鈍化傾向にある。



参考図 9 自動車保有台数の推移（四輪車）

出所）四輪車保有台数の推移[6]、JAMA

[6] https://www.jama.or.jp/statistics/facts/four_wheeled/index.html、2026/1/22

これを踏まえ、新車販売台数と同数が廃車になり全体の車両保有台数は将来的にも2024 年と同じと想定した。

車両保有台数は、地域性を加味するため、長野県、山梨県における実績値を利用し、②の各年の高度化レーダー搭載車販売台数の累積台数を全保有台数で除して算出した。

高度化レーダーの搭載率の予測結果を参考表 9 に示す。

参考表 9 高度化レーダーの搭載率の予測

		想定年間新規販売車両 (千台)※1	上段：新規販売車両数(高度化レーダー搭載済み)の予測結果(千台) 下段：うち高度化レーダー搭載車の比率(%)							
			2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	2036年	2037年
① **軽自動車** （軽乗用車・軽貨物）		55.03							1.65 (3%)	2.75 (5%)
② **小型自動車** （小型乗用車・小型貨物）		23.74							1.42 (6%)	1.66 (7%)
普通自動車 （普通乗用車・普通貨物）	③ **下記ハイグレード④⑤を除く普通自動車**	34.42						1.72 (5%)	4.13 (12%)	6.88 (20%)
	④ **ハイグレード国産車** 例：レクサス・アルファード・ヴェルファイア・クラウン・プリウス・アリア・アコード	8.03		0.24 (3%)	0.40 (5%)	0.80 (10%)	1.61 (20%)	3.21 (40%)	6.83 (８５%)	8.03 (100%)
	⑤ **ハイグレード輸入車** 例：BMW・メルセデスベンツ	2.44	1.46 (60%)	1.95 (80%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)	2.44 (100%)
年間販売台数(高度化レーダー搭載済み) 合計 (千台)			1.46	2.19	2.84	3.24	4.05	7.37	16.47	21.77
累計販売台数(高度化レーダー搭載済み)　(千台)			1.46	3.65	6.49	9.74	13.78	21.15	37.63	59.40
高度化レーダー搭載車の普及率 (%)			**0.1%**	**0.1%**	**0.3%**	**0.4%**	**0.5%**	**0.８%**	**1.5%**	**2.3%**

[表:青枠]：各グレード別の各年の新規販売車両※2 のうち、高度化レーダーを搭載する車両数と割合
[表:黄色]：累計の販売台数（高度化レーダー搭載済み）
[表:赤枠]：自動車保有台数※3 に占める高度化レーダー搭載車の普及率
※1 自動車保有台数の推移の傾向に基づき、新規販売車両数が一定であると仮定。
※2 長野県・山梨県における年間新車販売台数および日本の新車販売台数の車種別構成比(2024 年)を基に算出
※3 長野県・山梨県における四輪車の自動車保有台数の合計値 2,590 千台(2025 年)を基に算出
※4 普及率は株式会社三菱総合研究所の予測に基づき算出

(オ)電波伝搬モデルと減衰要素

受信設備が受ける与干渉量の電波伝搬モデルと減衰要素は以下に示す通り。

①自由空間伝搬損失

ITU-R 勧告 P.676-13 にならい、大気、酸素・水蒸気吸収損として[0.15dB/km]を適用する。

②地球球面による回折損失

ITU-R 勧告 P.526-15 にならい、等価地球半径導入による地球の丸みを考慮した回折損失を計上する。

③地形による回折損失（リッジ回折損失）

ITU-R 勧告 P.526-15 にならい、受信設備-干渉源間の地形（標高）に基づき、ナイフ

エッジ回折モデルにより算出・計上する。

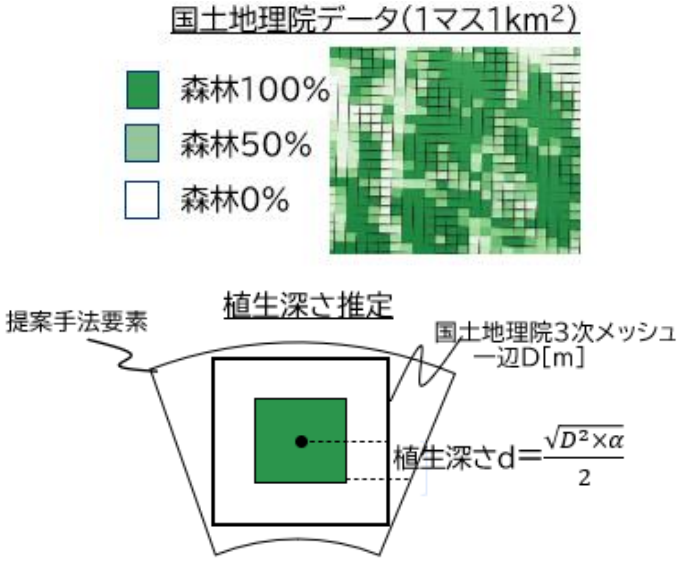
④クラッタ損失

本検討ではクラッタ損失は適用しない。（クラッタ損失に代わり地形による回折損失を適用）

⑤植生損失

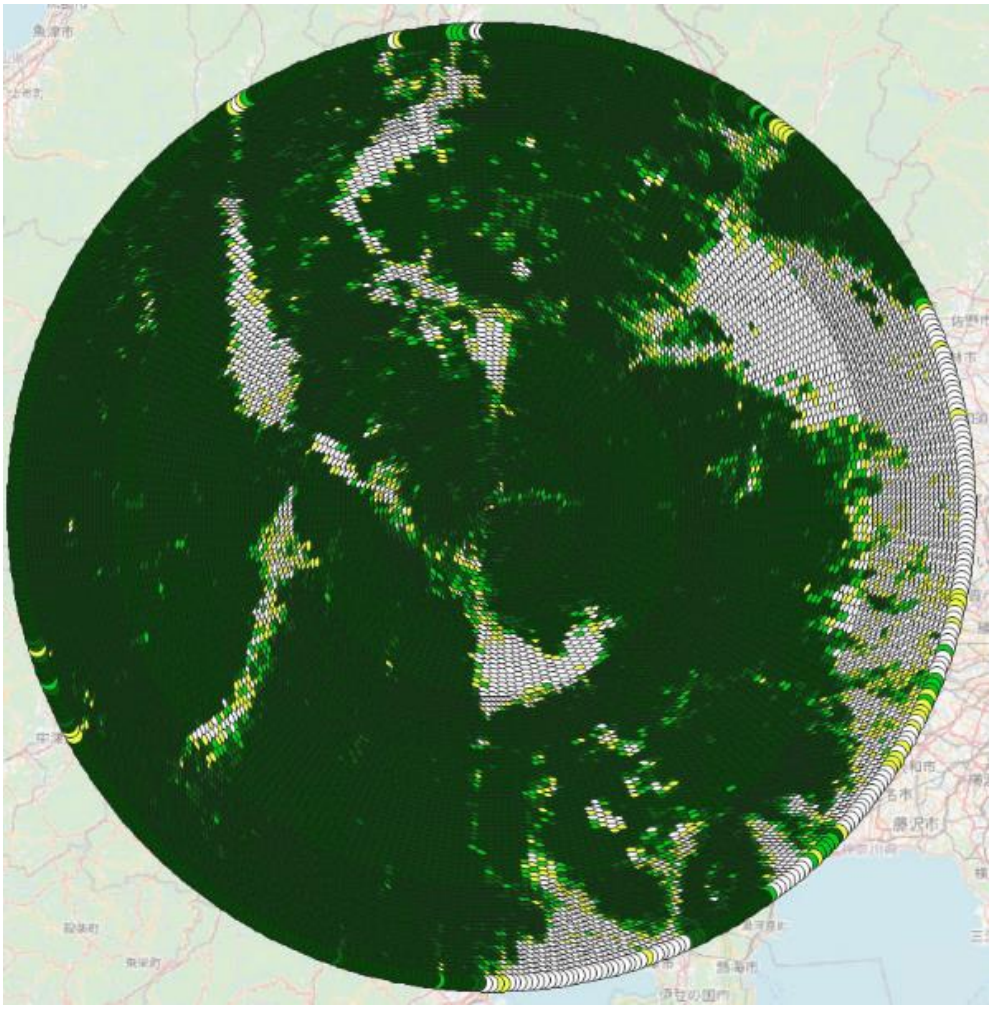
ITU-R 勧告 P.833-10 にならい、植生損[50dB/km]を計上する。
詳細の検討結果は以下の通り。

受信設備周辺の植生の深さ分布を以下に示す。植生の深さ分布の算出においては、国土地理院の土地利用状況データ（「国土数値情報（土地利用状況データ）[7]」）から、各 3 次メッシュの森林率αを算出した。メッシュ内に平均的に植生があると考え、以下の森林深さの推定モデルに従い植生深さを推定した。



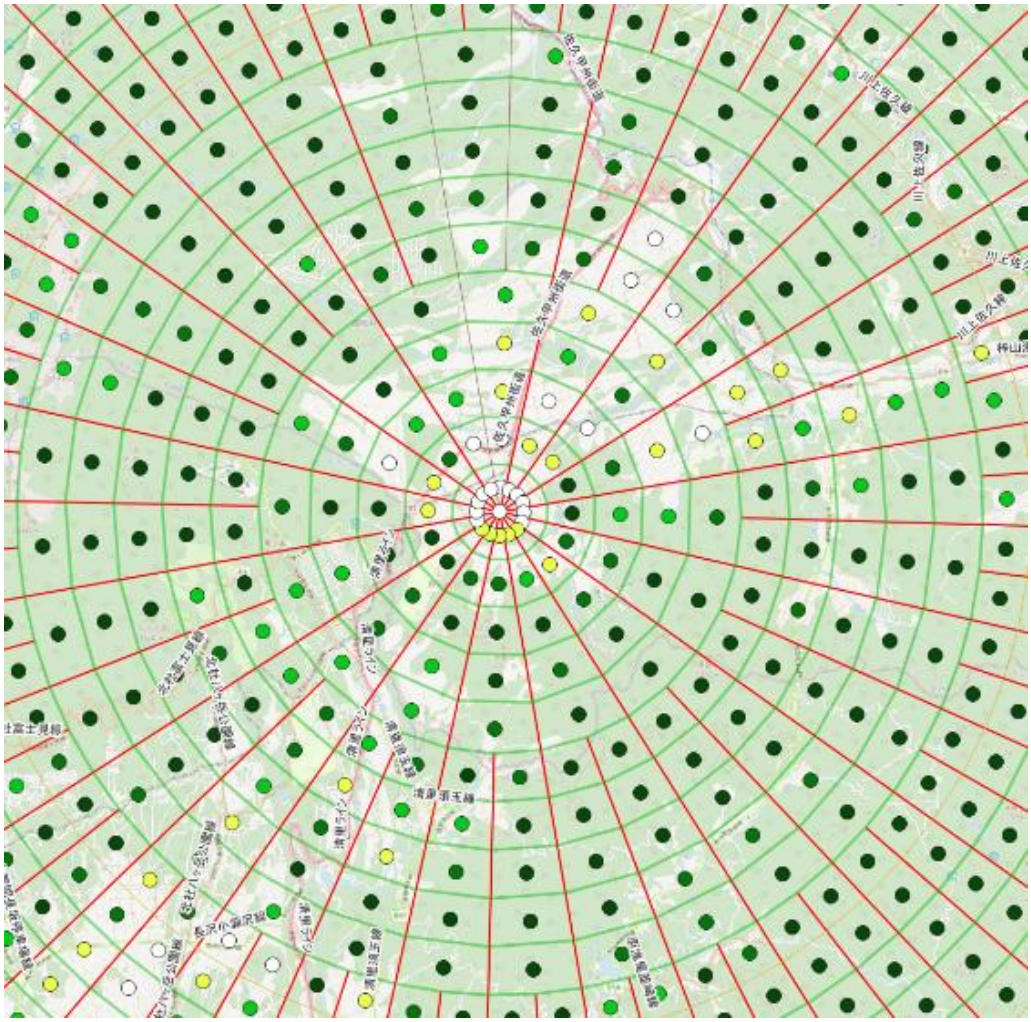
参考図 10 植生深さ推定の考え方

[7] https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/



参考図 11 植生深さの分布（地図上 半径 100km 内）

出所：© OpenStreetMap contributors による地図に加筆



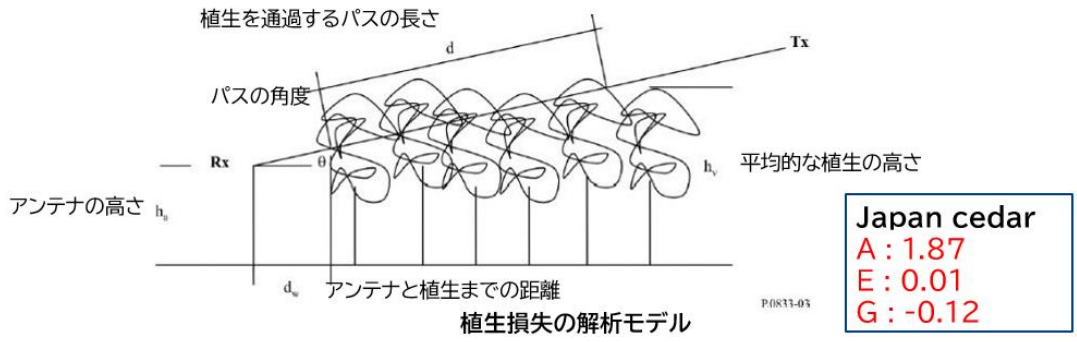
参考図 12 植生深さの分布（地図上 半径 10km 内）

出所：© OpenStreetMap contributors による地図に加筆

植生損失は ITU-R 勧告 P.833-10 のモデルに従って、上記の植生深さに基づき、Japan Cedar、植生の季節は植生損失が最も小さくなる 1 月を前提として計算した。

※ ITU-R 勧告 P.833-10 における算出において適用する植生種別は日本の植生に最も近い Japan Cedar を適用する。

植生損失の算出においては ITU-R 勧告 P.833-10 における 2.2.1 節 Site specific model にて規定されている複数の植生を通過するパスの長さに基づく損失の算出モデルを使用した。



参考図 13 植生損失のモデル

植生の算出式は以下の通り。

$$L_{veg}(dB) = A\, f^{B} \log_{10}(d)\,(\theta + E)^{G} - 4$$

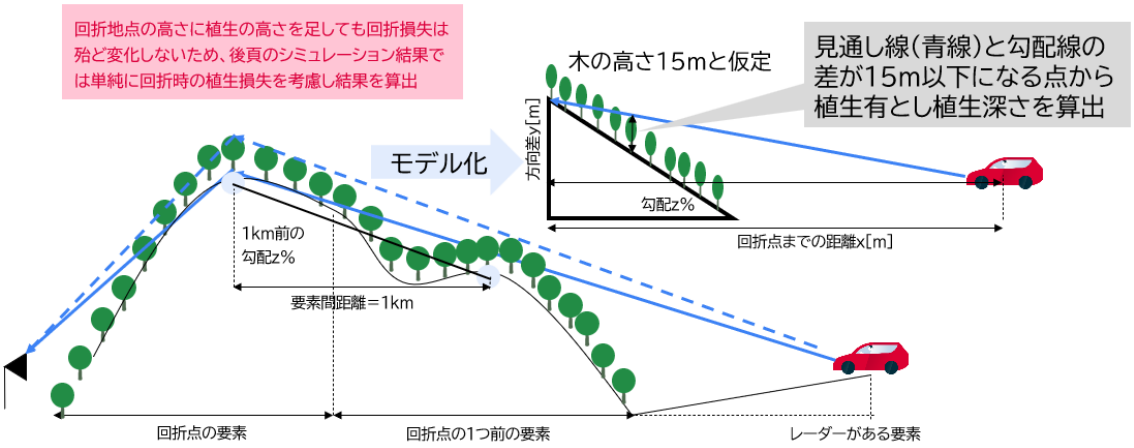
d:	vegetation depth (m)
θ:	elevation (degrees)
kh:	$\lvert Month - 6.5\rvert$ (In the southern hemisphere, $kh = 6 - \lvert Month - 6.5\rvert$ is used instead of left formula.)
$Month$:	month (1,2,3,….,12)
B:	$(0.302\,81 - 0.003624kh)(f / 1\,000)^{(0.001\,311\,8 - 0.026\,236kh)}$
A, E, and G:	empirical found parameters.

季節性を考慮した係数
（南半球では 6 か月ずれた値を使用）

上記モデルに基づき算出した植生通過時の損失は 1km あたり 49.95dB となった。また通過する植生の深さの算出モデルについては次項にて説明する。

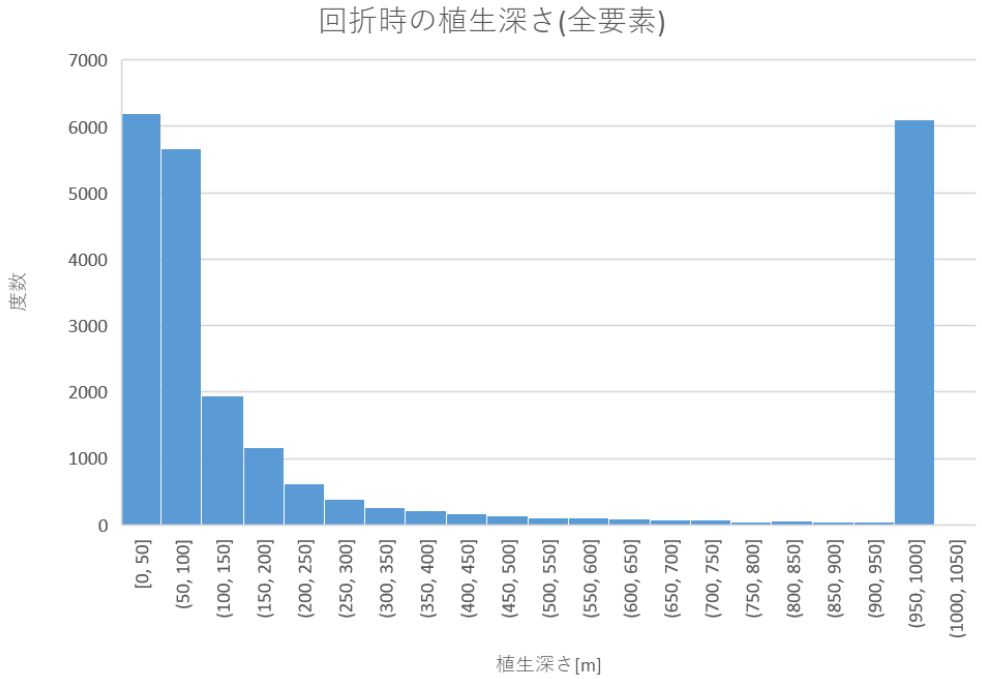
⑥回折時の植生損失

回折時の植生損失について、回折地点はすべて山岳部で、回折損失とともに植生損失があると想定している。具体的な算出方法としては、回折点のメッシュとその 1km 前のメッシュの標高差から勾配を算出し、勾配線と見通し線の差から植生深さを算出し、植生損失を適用した。この算出においては植生のモデルとしている木の高さを 15m と仮定し、レーダーから受信設備への見通し線が植生を通過する場合に植生有として、植生の深さを算出する。回折時の植生損失の計上モデルの概念図を以下に示す。当該モデルにおいては青色の実線にて示した経路にて損失の算出を行う。



参考図 14 回折時の植生損失の考え方

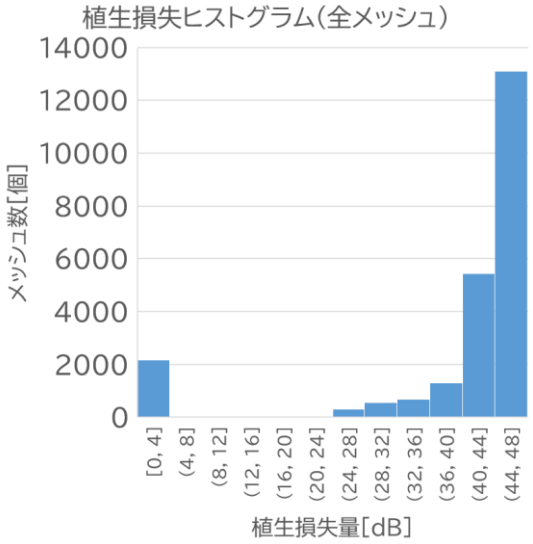
参考図 15 下図に当該モデルにて算出した植生深さのヒストグラムを示す。ヒストグラムにおいて植生深さ 1000m の分布が多いのは、回折が発生した場合、現状のモデルではメッシュのサイズにより 1000m 換算の植生損失が多くなるためである。



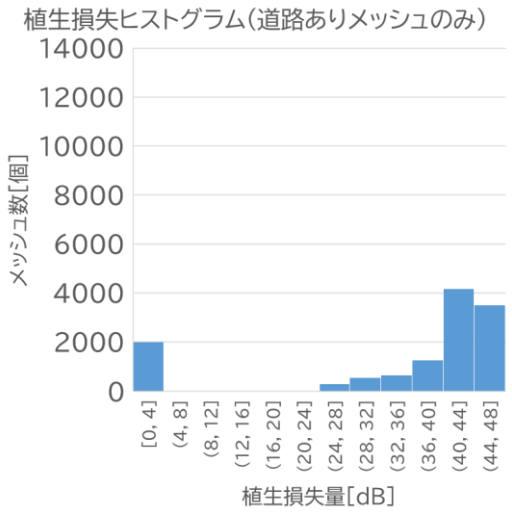
参考図 15 植生深さヒストグラム（全メッシュ）

参考図 16 に植生損失ヒストグラム（全メッシュ）を、参考図 17 に植生損失ヒストグラム（道路ありメッシュのみ）を示す。植生損失ヒストグラム（全メッシュ）では植生損失量 44～48dB のメッシュが多いものの、これらのメッシュには道路が存在しな

いため計算には利用していない。植生損失ヒストグラム（道路ありメッシュのみ）に限ると、植生損失量 44～48dB のメッシュは大きく減る。



参考図 16　植生損失ヒストグラム（全メッシュ）



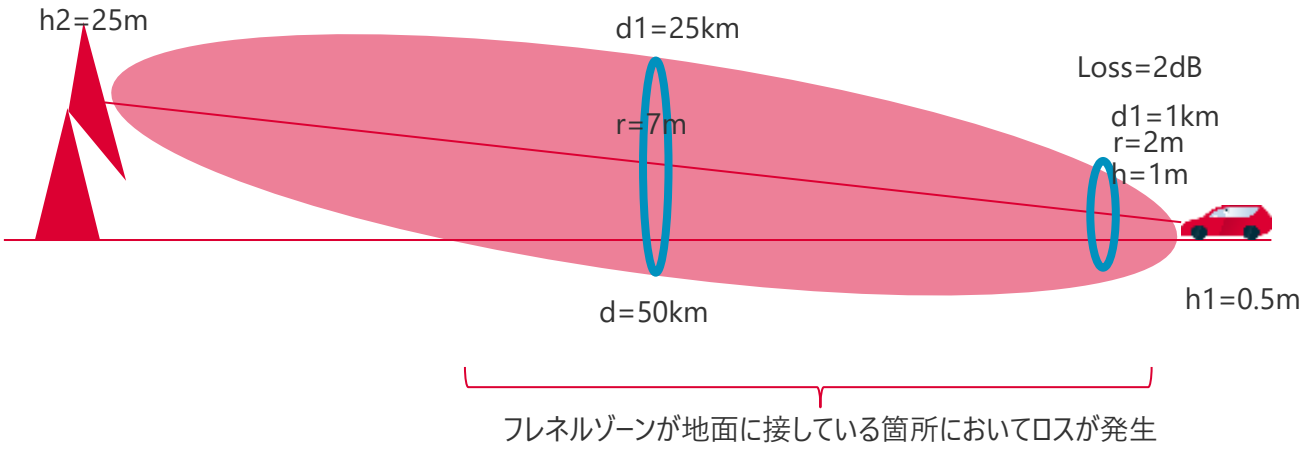
参考図 17　植生損失ヒストグラム（道路ありメッシュのみ）

⑦フレネルゾーンによる減衰

通信では、ホイヘンス・フレネルの原理をベースとした伝搬路のフレネル半径が考慮される。遠方ではフレネル半径も大きくなり、特に地面による遮蔽で 3～6dB の減衰が発生するものと考えられる。

野辺山における受信設備の電波望遠鏡を想定した場合、例えばチェリーパークライン付近では反射波が生じる d1=1km 先のフレネル半径が 2m、その時のビーム高さが 1m な

ので、2dB のロスが想定される。

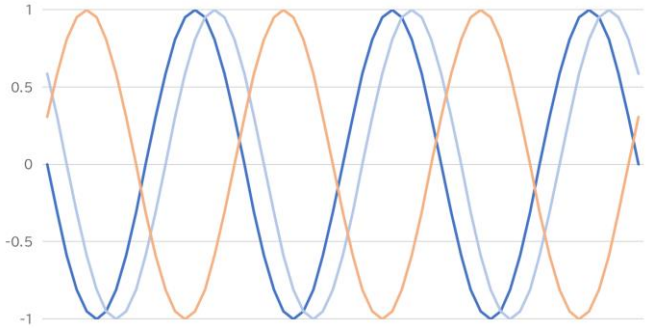


参考図 18 フレネルゾーンの概念

(カ)与干渉量の算出における位相の考慮

高度化レーダーの位相のイメージを参考図 19 に示す。図の各線が個々のレーダーの出力を示している。図において位相が近い 2 本の青色の線が示すレーダー出力が電力を強め合い、オレンジ色の線が示すレーダーは青色の線が示すレーダーの電力を弱める。

本検討では、それぞれのレーダーの位相が一様に分布しているとの前提条件に基づき、モンテカルロ法により各レーダーの位相分布に基づく電力の重ね合わせのシミュレーションを行い、受信設備への与干渉量の算出を行った。



参考図 19 位相のイメージ図

(キ)海外における電波天文業務の干渉回避方策例

電波天文観測においては、極めて微弱な宇宙電波を受信する必要があることから、観

測所周辺における人工的な電波放射を抑制するための空間的･制度的措置として「Radio Quiet Zone(RQZ)」が導入されている例がある。電波天文業務の保護方策の一環として、米国、オーストラリア、スペイン、チリ等において導入されている。

RQZ では、天文台を中心として一定範囲を区分し、無線設備の使用条件、送信電力、空中線指向性等について段階的な制約を設けることで、周辺地域の社会活動と電波天文観測との共存が図られている。ただし、RQZ は各国の制度や運用形態が異なり、必ずしも一律の基準が存在しておらず、RQZ が導入されている電波天文観測所と導入状況を下記に示す。

①Murchison Radio-astronomy Observatory（オーストラリア）

RQZ が次の通り 3 段階に分けられている。

- インナーゾーン(0-70km)：電波天文が無線通信の一次利用者となり、他の無線通信は二次利用者となる区域。
- アウターゾーン(70-150km)：電波天文の保護を前提としつつ各産業活動との共存を図る区域。
- 調整ゾーン(70-最大 260km)：電波天文との干渉評価のために設定されている区域。周波数や送信条件により範囲が変わり、送信設備ごとの個別調整が必要となる場合がある。

②The IRAM 30m telescope（スペイン）

上記の受信設備があるグラナダでは以下のような RQZ が設けられている。

- 天文台に隣接する土地の所有者及び居住者は次の制限に従うことなく建物を建築及び改造することができない。
  - 天文台から半径 1,000m 以内の範囲において、望遠鏡の見通しから 3 度以上高い位置に建物が存在してはいけない。
  - 工業施設、高電圧送電線、鉄道と天文台の受信アンテナ間に最小で 1,000m の離隔距離を設ける。
  - 天文台と無線送信機間の最小離隔距離は左下表により規定される。
- 送信機の位置に関係なく、天文学に優先的に割り当てられた周波数帯域の保護のために、各周波数帯における電界強度は右下表に制限される。
- 天文台の半径 10 キロ以内で、放射電力が 25 ワットを超える無線通信局に周波数を割り当てる前に、該当する放射方向の電界強度が、右下表で指定された値を超えないことを確認する研究を実施。

Range of frequencies (f) (MHz)	Interfering service	Apparent radiated power of the transmitter in the direction of the station to be protected (kW)	Maximum distance limitation that may be applied between the transmitting antenna and the station to be protected (km)	Maximum distance limitation and radio electric conditions (CRE)* that may be demanded (km)
$f > 3\,000$	Radiolocation Space Research (Earth-to-space)	$0.001 < P \leq 1$	1	
		$1 < P \leq 10$	2	
		$P > 10$	5	
	Other services	$0.001 < P \leq 0.01$	0.6	02, and CRE
		$0.01 < P$	1	

Frequency band	Pfd (dB(W/m^2))	Equivalent intensity of the electric field (dB(μV/m))
76-77.5 GHz	–130	15.8
79-86 GHz	–129	16.8
86-94 GHz	–125	20.8
94.1-116 GHz	–124	21.8
130-134 GHz	–124	21.8
136-158.5 GHz	–124	21.8
164-167 GHz	–123	22.8
182-185 GHz	–121	24.8
200-231.5 GHz	–119	26.8
241-248 GHz	–118	27.8
250-275 GHz	–117	28.8

③the ALMA（チリ）

固定地上送信機について、RQZ が次の通り 2 段階に分けられている。

- 保護ゾーン(0-30km)：下表の周波数帯域で運用される第三者の電波送信機の配置を禁止する区域。
- 調整ゾーン(30-120km)：第三者による電波送信器の配置の際は、アルマ天文台の運用者と調整が必要となる区域。受信設備の観測周波数を超える周波数を発する機器は、受信設備に許可された観測周波数に有害な干渉を生じないよう、帯域内外放射及び不要な放射を制限しなければならない。以下に ALMA 天文台における観測周波数（2025 年 3 月時点）を示す。

参考表 10 ALMA Reciever Specification[8]

Band	Frequency/ Wavelength range (GHz)[1]/(mm)	LO range (GHz)	Sideband mode[2]	IF range (GHz)	Inst. IF bandw. (GHz)[4]	T_{rx} over 80% of band (K)[6]	T_{rx} at any frq. (K)[6]
1	35.0 - 50.0/ 6.0 - 8.5	31.0 - 38.0	SSB	4–12	7.5	<25	<32
3	84.0 - 116.0/ 2.59 - 3.57	92 - 108	2SB	4–8	7.5	<39[7]	<43[7]
4	125.0 - 163.0/ 1.84 - 2.40	133 - 155	2SB	4–8	7.5	<51	<82
5	158.0 - 211.0/ 1.42 - 1.90	166 - 203	2SB	4–8	7.5	<55	<75
6	211.0 - 275.0/ 1.09 - 1.42	221 - 265	2SB	4.5–10[3]	7.5	<83	<136
7	275.0 - 373.0/ 0.80 - 1.09	283 - 365	2SB	4–8	7.5	<147	<219
8	385.0 - 500.0/ 0.60 - 0.78	393 - 492	2SB	4–8	7.5	<196	<292
9	602.0 - 720.0/ 0.42 - 0.50	610 - 712	DSB	4–12	7.5(15)[5]	<175 (DSB)	<261 (DSB)
10	787.0 - 950.0/ 0.32 - 0.38	795 - 942	DSB	4–12	7.5(15)[5]	<230[8] (DSB)	<344 (DSB)

なお上記の制限に関して、保護区域外で認可された施設と移動局を使用して地上無線通信を行う場合については対象外である。ITU-R で携帯電話や車載レーダー等の干渉がリスクとして挙げられているものの、受信機にシールドが張られており現状は影響がないため特段対策は取られていない。

④the US National Radio Astronomy Observatory in Green Bank（アメリカ）

RQZ が次の通り 5 段階に分けられている。

- Zone1,2：受信設備が位置する受信設備の敷地内。Zone2 が住居用・訪問者用・研究室として設定された区域で、Zone1 はその他の区域である。無線機器の干渉試験を行い、下表の干渉閾値を下回っていることを確認する必要がある。

[8] ALMA Cycle 12 Technical Handbook Table4-1 (Doc 12.3, version 1.0 | March 1st, 2025)、https://almascience.nrao.edu/documents-and-tools/cycle12/alma-technical-handbook

Centre frequency [1] f_c (MHz)	Assumed bandwidth Δf (MHz)	Minimum antenna noise temperature T_A (K)	Receiver noise temperature T_R (K)	System sensitivity [2] (noise fluctuations)		Threshold interference levels [2] [3]		
				Temperature ΔT (mK)	Power spectral density ΔP (dB(W/Hz))	Input power ΔP_{in} (dBW)	pfd $S_{\text{in}}\Delta f$ (dB(W/m^2))	Spectral pfd S_{in} (dB(W/(m^2 · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
13.385	0.05	50 000	60	5 000	−222	−185	−201	−248
25.610	0.12	15 000	60	972	−229	−188	−199	−249
73.8	1.6	750	60	14.3	−247	−195	−196	−258
151.525	2.95	150	60	2.73	−254	−199	−194	−259
325.3	6.6	40	60	0.87	−259	−201	−189	−258
408.05	3.9	25	60	0.96	−259	−203	−189	−255
611	6.0	20	60	0.73	−260	−202	−185	−253
1 413.5	27	12	10	0.095	−269	−205	−180	−255
1 665	10	12	10	0.16	−267	−207	−181	−251
2 695	10	12	10	0.16	−267	−207	−177	−247
4 995	10	12	10	0.16	−267	−207	−171	−241
10 650	100	12	10	0.049	−272	−202	−160	−240
15 375	50	15	15	0.095	−269	−202	−156	−233
22 355	290	35	30	0.085	−269	−195	−146	−231
23 800	400	15	30	0.050	−271	−195	−147	−233
31 550	500	18	65	0.083	−269	−192	−141	−228
43 000	1 000	25	65	0.064	−271	−191	−137	−227
89 000	8 000	12	30	0.011	−278	−189	−129	−228
150 000	8 000	14	30	0.011	−278	−189	−124	−223
224 000	8 000	20	43	0.016	−277	−188	−119	−218
270 000	8 000	25	50	0.019	−276	−187	−117	−216

- Zone3,4：Zone3 が半径 2 マイル以内、Zone4 が半径 10 マイル以内の電波送信を規制された区域。下表の閾値を超える電波を送信してはならない。

天文台からの距離	瞬間ピーク電界強度の閾値
3マイル未満	天文台から10フィートの距離で10μV/m
4マイル未満	天文台から15フィートの距離で10μV/m
5マイル未満	天文台から20フィートの距離で10μV/m
6マイル未満	天文台から50フィートの距離で5μV/m
7マイル未満	天文台から50フィートの距離で6μV/m
8マイル未満	天文台から50フィートの距離で7μV/m
9マイル未満	天文台から50フィートの距離で8μV/m
10マイル未満	天文台から50フィートの距離で9μV/m

- Zone5：National Radio Quiet Zone（NRQZ）で規定された区域。基準点における電力密度が下表の閾値を超えてはならない。

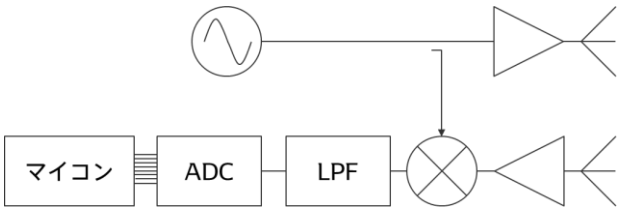
周波数帯域	電力密度の閾値(W/m^2)
<54MHz	1×10^{-8}
54-108MHz	1×10^{-12}
108-470MHz	1×10^{-14}
470-1000MHz	1×10^{-17}
>1000MHz	Freq(GHz)$\times10^{-17}$

2.　76GHz 帯小電力ミリ波レーダー間の相互干渉

相互干渉の電力を計算し、現行の規定から EIRP による規定とすることで相互干渉の影響が変化するかを検討した。

① レーダーの観測原理

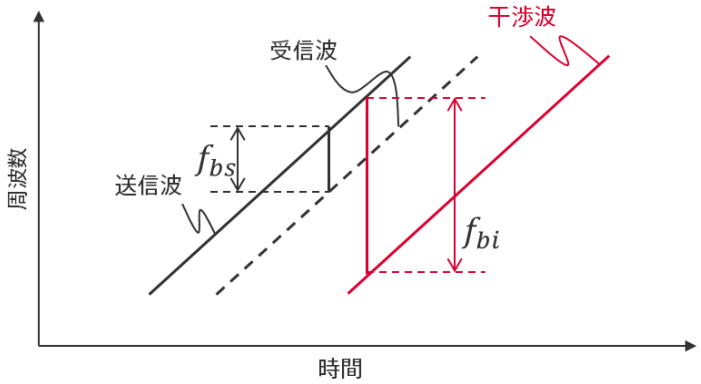
参考図 20 にレーダーアーキテクチャ例を示す。発振器からミリ波が発振されパワーアンプで増幅され送信アンテナから輻射される。その後、物標で反射し受信アンテナに戻った成分が低雑音増幅器で増幅され、送信波とミキサで混合される。Low Pass Filter（LPF）で低周波成分が濾過され AD コンバータ（ADC）でデジタイズされる。その信号がマイコンに送られ信号処理、認識処理されることで、物標の位置が特定される。



参考図 20 レーダーアーキテクチャ例

② 相互干渉の原理

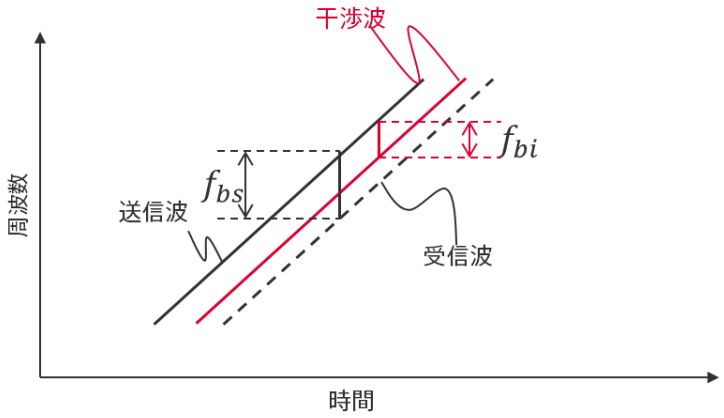
参考図 21 に FMCW、FCM といった周波数変調方式レーダーにおいて、干渉波が受信された場合の送信波、受信波（物標からの反射波）と干渉波の周波数と時間の関係を示す。レーダーの送信波と干渉波はコヒーレントであると仮定する。



参考図 21 **干渉波が受信される事例①**

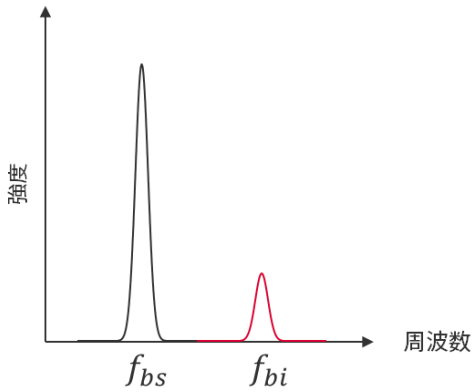
送信波と干渉波はコヒーレントという仮定をしているので、参考図 20 に示したレーダーアーキテクチャにおけるミキサで送信波と干渉波は混合されてビート（f_{bi}）が発生される。

参考図 21 に示したように、干渉波が受信波に対して遅れて入ってくる場合、f_{bi}は送信波と受信波によって発生するビート（f_{bs}）に対して高い周波数となる。この場合、参考図 20 に示したレーダーアーキテクチャの LPF によりf_{bi}を除くことができるため、干渉波による影響は少ない。



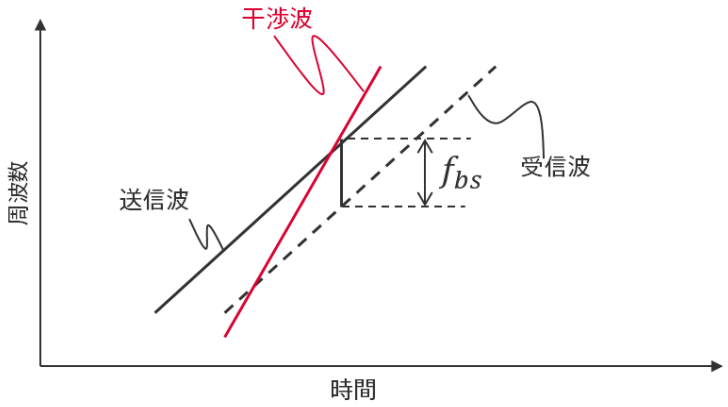
参考図 22 **干渉波が受信される事例②**

次に、参考図 22 に示すように、干渉波が受信波よりも早く到達する場合は、参考図 20 に示したレーダーアーキテクチャにおける LPF では除くことができないため悪影響を及ぼす。例えば参考図 23 に示すように周波数解析の結果f_{bs}とf_{bi}の２つのピークが観測され、その結果本来の物標の他に、別の物標が誤認識される可能性もある。



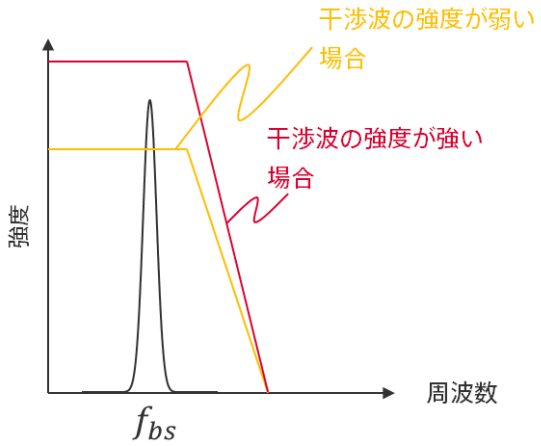
参考図 23 **干渉波が受信された場合の送信波、受信波、干渉波の周波数②**

参考図 24 に干渉波が受信される第 3 の事例を示す。この事例③では干渉波が送信波より変調傾きが急峻である場合を示している。



参考図 24 **干渉波が受信される事例③**

この場合、時間-周波数軸において干渉波は送信波と交差するため発生するビートは DC から LPF（参考図 20 ）のカットオフまでブロードに広がる（参考図 24 ）。

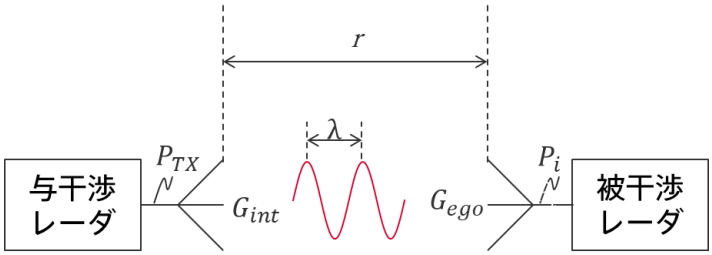


参考図 25 **干渉波が受信された場合の送信波、受信波、干渉波の周波数③**

この場合、干渉波の強度が弱い場合は送信波と受信波の混合で生じるビートのピークは観測される可能性があるが、干渉波の強度が強い場合は送信波と受信波の混合で生じるピークが埋もれピークの観測が困難となる。この結果、物標を見失う可能性が高くなる。

③ 相互干渉電力の計算

与干渉レーダーと被干渉レーダーの模式を参考図 26 に示す。



参考図 26 与干渉レーダーと被干渉レーダーの模式

被干渉レーダーにおける干渉電力P_iは自由空間伝搬を仮定しフリスの伝達公式より次式で得られる。

$$P_i = G_{ego} G_{int} P_{TX} \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2$$

ここでP_iは被干渉レーダーの受ける干渉電力、G_{ego}は被干渉レーダーの空中線利得、G_{int}は与干渉レーダーの空中線利得、P_{TX}は与干渉レーダーの空中線電力、λは波長、rは被干渉レーダーと与干渉レーダー間の距離である。ここで、$EIRP_{int}$を与干渉レーダーのEIRPとすると

$$EIRP_{int} = G_{int} P_{TX}$$

であるので、

$$P_i = G_{ego} EIRP_{int} \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2$$

となり干渉電力は与干渉レーダーのEIRPに比例することがわかる。

参考表 11に我が国と諸外国におけるミリ波レーダー送信電力規定を示す。

参考表 11 我が国と諸外国におけるミリ波レーダー送信電力規定

地域	空中線電力	空中線利得	EIRP
現行レーダー	10dBm	40dBi	-
高度化レーダー	-	-	50dBm
欧米はじめ諸外国	-	-	平均 50dBm Peak 55dBm

高度化レーダーのEIEP規定値が平均50dBmであれば、規定上の相互干渉電力の最大値は現規定（空中線電力10dBm、空中線利得40dBiの和が50dBm EIRP）と同等となる。この値は欧米法規と同等以下であり、高度化レーダーの干渉影響度は同等以下であり新たな問題が生じる可能性は極めて低いと考えられる。

ただし、日本国内で現在流通している現行規定のレーダーでかつ干渉耐性の低いレーダーの場合、EIEP 化により影響を受ける可能性もあるため、その影響について以下で検討する。

④高度化レーダーが現行規定のレーダーへ及ぼす干渉影響

EIRP 化後の高度化レーダーが現行規定のレーダーでかつ干渉耐性の低いレーダーへ及ぼす干渉影響を検討する。検討にあたっては以下の前提を用いる。

- 干渉電力を雑音とする
- 干渉確率を考慮した電力密度を被干渉レーダーの回路ノイズ（熱雑音）と比較する。
- レーダーの波形は各個で異なると仮定し、各々の波形には相関性がない
- 変調は最も一般的な FMCW ないしは FCM とする
- 被干渉レーダーの IF 帯域（ビートの帯域）への混入確率を考慮する
- 中心周波数の選択は帯域内でランダムに選択され、システム間の同期は行われない（協調制御はしない）

$$P_{int} = \frac{2f_{IFBW}}{f_{mod}} \cdot \frac{f_{mod}}{f_{Total}} \cdot K_{duty} \cdot P_i = \frac{2f_{IFBW}}{f_{Total}} \cdot K_{duty} \cdot P_i$$

ここでf_{IFBW}は被干渉レーダーの IF 帯域幅、f_{mod}は被干渉レーダー、与干渉レーダーの変調帯域幅、f_{Total}は使用可能な周波数帯域、K_{duty}は被干渉レーダー、与干渉レーダーの送信期間共有率とする。

また上式の左辺のうち$\frac{2f_{IFBW}}{f_{mod}}$は IF 帯域混入率、$\frac{f_{mod}}{f_{Total}}$は変調帯域共有率を表している。

次にINRを被干渉レーダーの一受ける干渉電力密度と回路ノイズの比とすると

$$\mathrm{INR} = \frac{P_{int}}{P_n} = \frac{\frac{2f_{IFBW}}{f_{Total}} \cdot K_{duty} \cdot P_i}{NF_{ego} \cdot k \cdot T \cdot f_{IFBW}} = \frac{2K_{duty} \cdot P_i}{f_{Total} \cdot NF_{ego} \cdot k \cdot T}$$

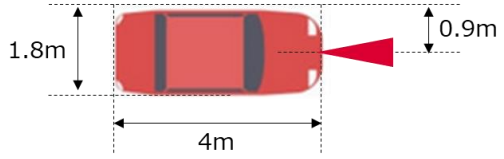
を得る。ただし、NF_{ego}は被干渉レーダーのノイズファクタ、kはボルツマン定数、Tは温度で 300[K]とする。

この式から被干渉レーダーの干渉電力が回路ノイズ(熱雑音)を上回るとレーダー性能に影響を及ぼし信号精度の低下を招くことがわかる。

⑤現行基準によるレーダー相互干渉の影響

まずは現状把握のため、EIRP 化前のレーダー相互干渉の *INR* をシミュレーションにより求める。

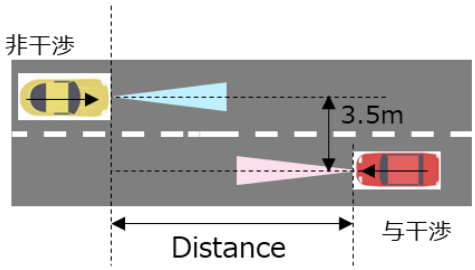
レーダー搭載条件を参考図 27 に示す。



参考図 27 レーダー搭載条件

車幅を 1.8m、レーダーは前方中央に配置し、車長は 4m とした。

干渉シーンは隣接車線対向すれ違いとし、その概要を参考図 28 に示す。このシーンは前方レーダー同士の干渉において最も厳しい条件と考える。クルマとクルマの横間隔は車線幅と同じく 3.5m とした。



参考図 28 干渉シーン概要

計算に用いたレーダー諸元を参考表 12 にまとめる。

参考表 12 レーダーの諸元

	RADAR-A	RADAR-B
想定	創世期主流タイプ （指向性が非常に高い）	近年主流タイプ （指向性はやや低い）
変調方式	FMCW	FMCW、FCM
変調帯域幅	200[MHz]	
IF（ビート）帯域幅	1[MHz]	10[MHz]
空中線電力	10[dBm]	
NF	15[dB]	
Duty	0.5	
占有周波数帯幅	1[GHz]（76.0 - 77.0[GHz]）	
アンテナパターン	ITU-R 勧告 M.2057-1 RADAR-A	ITU-R 勧告 M.2057-1 RADAR-B
アンテナ利得	送受：30[dBi]	送信：23[dBi] 受信：16[dBi]
方位方向半値角	送受：±5[deg]	送信：±12.5[deg] 受信：±13.5[deg]
仰角方向半値角	送受：±3[deg]	送受：±5.5[deg]

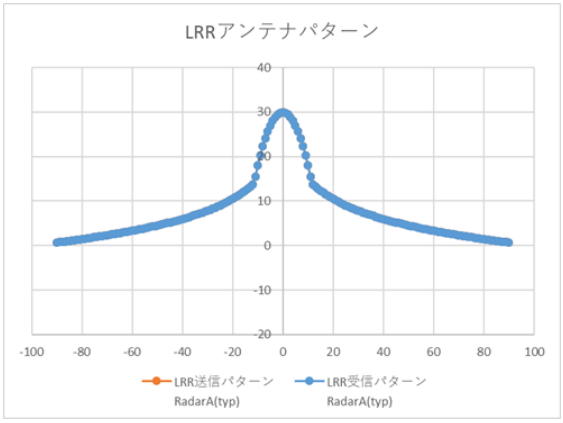
創世期に主流だったタイプと近年主流のタイプについて計算を行う。アンテナ指向性パターンは ITU-R 勧告 M.2057-1 に記載の RADAR-A、RADAR-B として定義されているものを用いた。空中線電力は 10dBm としたが、ここから参考表 13 に示す現実的な損失を見込む。

参考表 13 レーダーの送信における損失

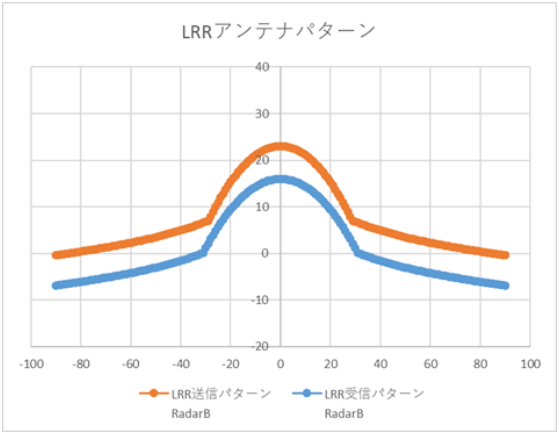
レーダー	パラメータ	値
与干渉レーダー	MMIC 出力	10[dBm]
	アンテナフィード損失	2[dB]
	レドーム*損失	0.5[dB]
	グリルカバー**における損失	1.5[dB]
被干渉レーダー	アンテナフィード損失	2[dB]
	レドーム*損失	0.5[dB]
	グリルカバー**損失	1.5[dB]

レドーム*：レーダーのアンテナ前に設置されている樹脂製のカバー
グリルカバー**：クルマの外観を損なわないように搭載されているレーダーをカバーするフロント部分の樹脂材

ITU-R 勧告 M.2057-1 で示されているアンテナ指向性パターンとして、RADAR-A の指向性パターンを参考図 29 に、RADAR-B の送信、受信の指向性パターンを参考図 30 に示す。



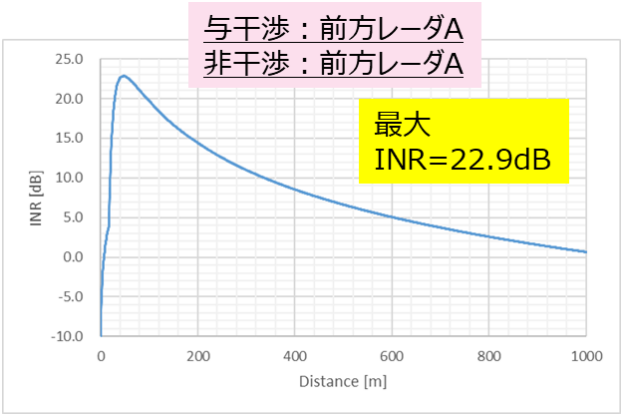
参考図 29 RADAR-A アンテナ指向性パターン（ITU-R 勧告 M.2057-1）



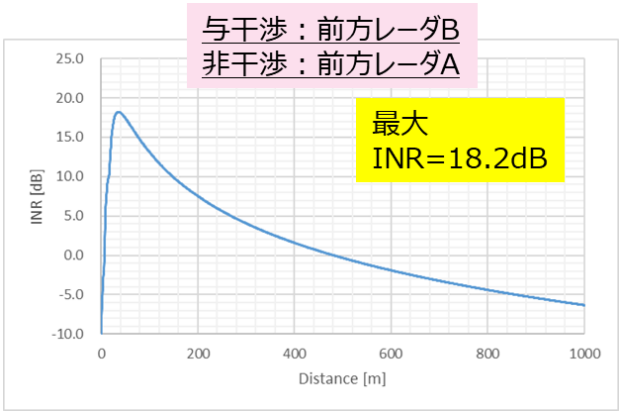
参考図 30 RADAR-B アンテナ指向性パターン（ITU-R 勧告 M.2057-1）

計算結果を参考図 31 、参考図 32 、参考図 33 、参考図 34 に示す。横軸にレーダー同士の距離、縦軸にとり縦軸を *INR* とした。参考図 31 は与干渉レーダーを

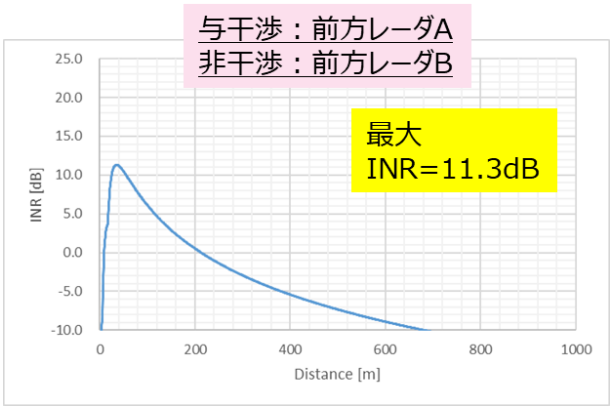
RADAR-A、被干渉レーダーも前方レーダーA とした結果を示している。



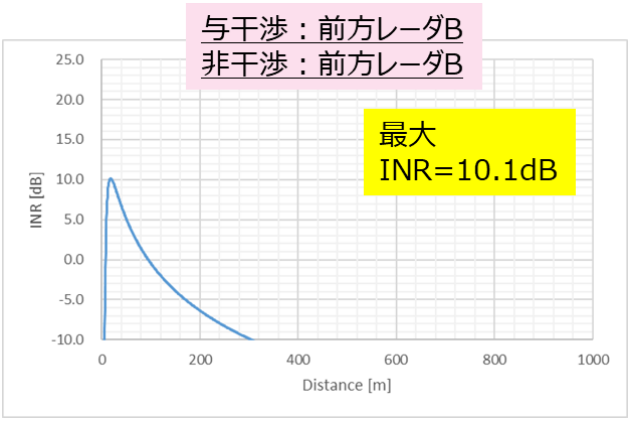
参考図 31 与干渉レーダー：前方レーダーA、被干渉レーダー：前方レーダーA



参考図 32 与干渉レーダー：前方レーダーB、被干渉レーダー：前方レーダーA



参考図 33 与干渉レーダー：前方レーダーA、被干渉レーダー：前方レーダーB



参考図 34 与干渉レーダー：前方レーダーB、被干渉レーダー：前方レーダーB

⑥ 相互干渉に関する検討結果

高度化レーダーで想定する EIRP は 50dBm 以下であり、規定上の干渉電力の最大値は現規定と同等である。また、この値は欧米法規と同等である。

実用に近い想定で既存レーダーへの影響を試算した結果から、EIRP 化によるレーダー間の相互干渉への影響は限定的であり、現状システムの想定を超えるような影響ではないため、新たな問題が生じる可能は極めて低いと考えられる。

また、現状においても強い干渉下での動作は必須の状況であり、各種の干渉対策技術が検討され、市場レーダーに実装、実用化されている。今後のレーダー普及率の増加を踏まえ各事業者での継続した技術開発が期待されるところではあるが、当面は問題は発生しないと考えられる。

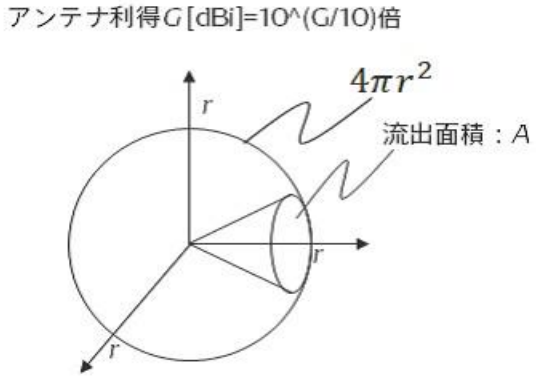
3. 電波防護指針への準拠

電波防護指針（諮問第 2035 号「電波防護指針の在り方」のうち 「高周波領域における電波防護指針の在り方」に関する一部答申）による規定値は以下の通りとされている。この基準への準拠について検討を行った。

一般環境において、 ＜1＞全身平均 SAR の任意の６分間平均値が、0.08W/kg 以下であること。 ＜4＞30GHz 超 300GHz 以下の周波数では、次のいずれかの要件を満たすこと。 ［4a］任意の体表面（人体の占める空間に 相当する領域中の任意の面積）１cm^2 当りの入射電力密度（６分間平均値）が２mW/cm^2 を超えないこと。 ［4b］任意の体表面４cm^2 当たりの吸収電力密度（６分間平均値）が２mW/cm^2 を超えないこと、かつ、任意の体表面１cm^2 当たりの吸収電力密度（６分間平均値）が４mW/cm^2 を超えないこと。

①電波防護への対応の考え方

参考図 1 にアンテナ利得の概略図を示す。図において球の半径は r cm とする。この場合は球の面積は $4\pi r^2$ m^2 である。



参考図 35　アンテナ利得概略

アンテナ利得を G_t dBi（真値で $10^{\frac{G_t}{10}}$）として電磁界の流出面積 A cm^2 を求める。

$$10^{\frac{G_t}{10}} = \frac{4\pi r^2}{A} \Leftrightarrow A = \frac{4\pi r^2}{10^{\frac{G_t}{10}}} \quad (1)$$

空中線電力を P_t dBm とすると真値では $W_t = 10^{\frac{P_t}{10}}$ mW である。よって電力密度 w mW/cm^2 は

$$w = \frac{W_t}{A} = \frac{10^{\frac{P_t}{10}}}{\frac{4\pi r^2}{10^{\frac{G_t}{10}}}} \quad (2)$$

となる。この値 w mW/cm^2 が規定値を超えなければよい。

② 計算結果

式(2)を用いて計算した結果を参考表 14 に示す。

参考表 14 計算結果

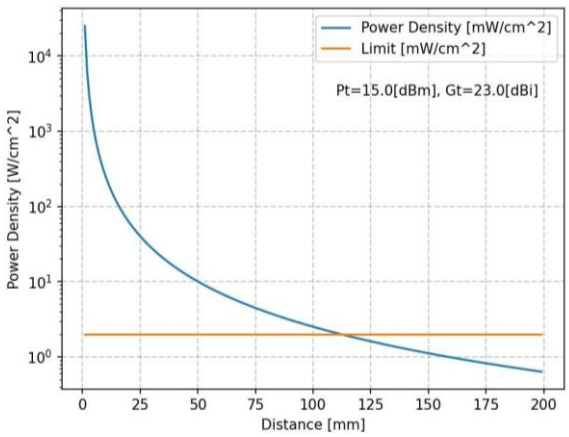
r[m]	P_t[dBm]	G_t[dBi]	Duty	w[mW/cm^2]
0.1	10	23	0.5	0.79
0.1	15	15	0.5	0.40
0.1	15	23	0.5	2.51

空中線電力 15dBm、空中線利得 23dBi、Duty0.5 とした場合に規定値を超過する。この場合の EIRP は 38dBm である。

③ 距離依存性

空中線電力 15dBm、空中線利得 23dBi、Duty0.5 とした場合の電力密度の距離依存性を求めた。結果を参考図 36 に示す。

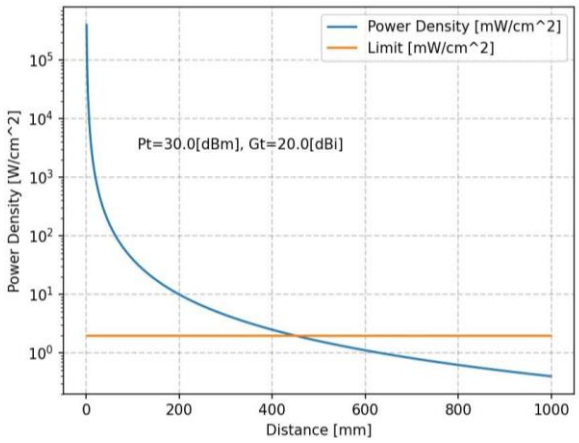
これより、11cm を超える場合規定値を満たすことが分かる。



参考図 36 電力密度の距離依存性（EIRP 38dBm）

次に空中線電力 30dBm、空中線利得 20dBi、Duty0.5 とした場合の電力密度の距離依存性を求めた。結果を参考図 37 に示す。

この場合、45cm 程度離せば制限値を満たすことが分かる。



参考図 37 電力密度の距離依存性（EIRP 50dBm）